



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΡΑΦΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΘΕΜΕΛΗΣ

ΑΘΗΝΑ

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα καθηγητή μου Νικόλαο Θεμελή για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση και βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της, χωρίς την συνδρομή του οποίου δεν θα ήταν δυνατή η επίτευξή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών καθώς και τους φίλους μου που με στήριξαν συναισθηματικά και ηθικά ιδιαίτερα στην περίοδο εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, να ευχαριστήσω θερμά την Prisma Electronics για την διάθεση των πρωτογενών δεδομένων.

Σύνοψη

Ο τελικός στόχος αυτής της εργασίας είναι να αξιολογηθούν οι διάφορες μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας του πλοίου μέσω των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από την ανάλυση δεδομένων ενός πλοίου σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας.

Οι μεθοδολογίες που εξετάζονται είναι δύο: η πρώτη είναι της ITTC (Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials), και η δεύτερη της ISO 19030 (Ships and marine technology - Measurement of changes in hull and propeller performance. Part 2: Default method). Οι κυριότερες διαφορές τους εστιάζονται κατά βάση στις επιδράσεις που ασκούνται στο πλοίο από το περιβάλλον και έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πρόσθετων αντιστάσεων. Στην κατηγορία των πρόσθετων αντιστάσεων εντάσσονται αυτές που οφείλονται στον άνεμο, τα κύματα καθώς και την επίδραση της κατάστασης του θαλασσινού νερού (θερμοκρασία και πυκνότητα). Από αυτές τις επιδράσεις η τελευταία δεν μελετάται δεδομένου ότι τα αποτελέσματα που δίνει επιφέρουν μικρές μεταβολές κυρίως λόγω των μικρών μεταβολών των παραγόντων της.

Ο υπολογισμός των πρόσθετων αντιστάσεων θα οδηγήσει στην συνέχεια στον αποτελεσματικό υπολογισμό της τελικής τιμής της ισχύος του πλοίου. Σημαντικής σημασίας αποτελεί η διόρθωση της ισχύος λόγω διαφοράς βυθίσματος και κατ'επέκταση εκτοπίσματος του πλοίου από την κατάσταση αναφοράς έτσι ώστε η τελική τιμή να αντιστοιχίζεται σε αυτές που έχουν υπολογιστεί από το μοντέλο του πλοίου. Με αυτή την τιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί μια πρώτη σύγκριση σχετικά με τα σημεία λειτουργίας και την καμπύλη αναφοράς του πλοίου.

Τα τελικά αποτελέσματα της εργασίας προκύπτουν από την διαδικασία παραγωγής των δεικτών που σχετίζονται με την απώλεια ταχύτητας και την αύξηση ισχύος του πλοίου. Οι δείκτες εκφράζουν σε ποσοστό επί τοις εκατό την απόκλιση των υπολογισθέντων σημείων από τα αναμενόμενα.

Abstract

The ultimate goal of this study is to evaluate the various methodologies, which were used to calculate the efficiency of a ship. The research is based on data analysis of a ship in various operating modes.

The study scrutinizes two methodologies, the first is ITTC (Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials), and the second is ISO 19030 (Ships and marine technology - Measurement of changes in hull and propeller performance. Part 2: Default method). Their major differences are mainly focused on the effects that are exerted on the ship by the environment and result in the creation of additional resistances. The category of additional resistances is referring to the wind, the waves as well as the effect of the state of the sea water (temperature and density). Of these effects, the latter one is not studied since its results have insignificant variations mainly due to the small changes of its factors.

The calculation of the additional resistances will then lead to the effective calculation of the final value of the ship's power. It is important to state that there is a correction on the power of draught difference as it impacted the displacement of the ship from the reference condition, in order to match the final value to those values calculated by the ship model. Therefore, with this correction, a first comparison of the ship's operating points with the reference curve can be conducted.

The final results of the work derive from the production process of the indicators related to the loss of speed and the power increase of the ship. The indicators illustrate a percentage deviation of the calculated points from the expected values.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	2
Σύνοψη.....	3
Abstract.....	4
1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Εισαγωγικά σχόλια.....	7
1.2 Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	8
1.3 Στόχος.....	9
2 Μέθοδοι υπολογισμού της ισχύος πρόωσης και δεικτών απόδοσης.....	11
2.1 Μέθοδος ISO.....	11
2.2 Μέθοδος ITTC.....	14
2.3 Διαγράμματα Ροής Υπολογισμού.....	15
2.4 Περιγραφή Προβλήματος.....	19
3 Πρόσθετες Αντιστάσεις.....	20
3.1 Πρόσθετη Αντίσταση Ανέμου.....	20
3.1.1 Συντελεστές Αντίστασης Ανέμου.....	25
3.1.2 Υπολογισμός Συντελεστών Αντίστασης Ανέμου με την Μέθοδο Fujiwara.....	25
3.2 Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού.....	27
3.2.1 Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού (STAWAVE-1).....	28
3.2.2 Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού (STAWAVE-2).....	29
3.3 Υπολογισμός Πρόσθετης Ισχύος.....	31
3.4 Κανονικοποίηση Ισχύος.....	32
4 Εφαρμογή Μεθοδολογιών.....	33
4.1 Υπό Μελέτη Πλοίο και Συλλογή Δεδομένων.....	33
4.1.1 Πρόσθετα Δεδομένα.....	35
4.1.2 Υπολογισμός Μεταβλητών Μεθόδου Fujiwara.....	36
4.2 Στατιστική Ανάλυση Βασικών Παραμέτρων.....	37
4.3 Σύγκριση Συντελεστών Αντίστασης Ανέμου (Μέθοδος Fujiwara - Μέθοδος F.3 ITTC)	38
4.4 Σημαντικό Ύψος Κύματος.....	41
4.5 Συνιστώσες Πρόσθετης Αντίστασης Κυματισμού.....	42

5 Αποτελέσματα Ανάλυσης	44
5.1 Πρόσθετη Ισχύς Λόγω Αντίστασης Ανέμου	44
5.2 Πρόσθετη Ισχύς Λόγω Αντίστασης Κυματισμών	46
5.3 Συνοπτική Παρουσίαση Αντιστάσεων	47
5.4 Αποτελέσματα Προτύπου ISO 19030	48
5.5 Αποτελέσματα Προτύπου ITTC.....	49
5.5.1 Μέθοδος Υπολογισμού Stawave 1	51
5.5.2 Μέθοδος Υπολογισμού Stawave 2	52
5.6 Χρονοδιάγραμμα Αντιστάσεων - Ισχύος	54
5.7 Υπολογισμός Δεικτών Απόδοσης	55
5.8 Αποτελέσματα Για Συνθήκες Αναφοράς	58
6 Συμπεράσματα και Περαιτέρω Έρευνα.....	59
6.1 Συμπεράσματα	59
6.2 Περαιτέρω Έρευνα.....	60
Βιβλιογραφία	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	62
Παράρτημα Α Κώδικές MATLAB.....	63
Windtheory.m	63
Wavetheory.m	67
windresFINAL.m	69
waveresFINAL.m	72
PowerFINAL.m	73
FINAL.m	80
Παράρτημα Β Πίνακες	81

1 Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικά σχόλια

Η επίτευξη της αποδοτικότητας στο πλοίο είναι ένας στόχος ο οποίος επιδιώκεται σε όλη την διάρκεια λειτουργίας του. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέγιστη αποδοτικότητα συνδέεται άμεσα με την ικανότητα κέρδους του πλοίου. Στον όρο αποδοτικότητα συμπεριλαμβάνεται τόσο η επιχειρησιακή αξιολόγηση όσο και παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργίας της έλικας και της γάστρας. Έτσι η αποδοτικότητα ενός πλοίου εξαρτάται αρχικά από την μηχανολογική εγκατάσταση, καθώς και από την σχεδίαση της γάστρας και της έλικας. Έπειτα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η κατάσταση της γάστρας και της έλικας όσον αφορά την τραχύτητα που αυτά φέρουν λόγω πιθανής ρύπανσης που μπορεί να έχουν υποστεί. Επιπλέον όμως σημαντικός είναι και ο ρόλος των εξωτερικών συνθηκών του περιβάλλοντος που επιδρούν κάθε φορά στο πλοίο, όπως είναι η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου καθώς και το σημαντικό ύψος των κυματισμών που συναντάει αυτό. Συνεπώς γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η αποδοτικότητα αποτελεί ένα δυναμικό στοιχείο του πλοίου το οποίο μεταβάλλεται διαρκώς σύμφωνα με τους παραπάνω παράγοντες, έτσι η συνεχής αξιολογήσή της είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο.

Η χρησιμότητα λοιπόν της συνεχούς αξιολόγησης της απόδοσης του πλοίου είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη συγκεκριμένων μεθοδολογιών βασιζόμενες στην συλλογή και επεξεργασία δεδομένων. Τα αποτελέσματα της αποδοτικότητας είναι υψηλής σημασίας αφού αυτά θα κρίνουν τις ενέργειες που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν στο πλοίο όπως για παράδειγμα η συντήρηση αυτού μέσω καθαρισμού της έλικας και της γάστρας. Συνεπώς πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στις εξωτερικές συνθήκες που επηρεάζουν άμεσα την αποδοτικότητα προκειμένου να μην εξάγονται λανθασμένα συμπεράσματα και κατ'επέκταση ενέργειες που αφορούν το πλοίο. Για την σωστή αντιμετώπιση λοιπόν του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες που εκτιμούν τις επιδράσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος στο πλοίο και οι οποίες αποτυπώνονται από τις πρόσθετες αντιστάσεις που αυτές δημιουργούν.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για να παραχθούν τα αποτελέσματα των πρόσθετων αντιστάσεων. Ο πρώτος τρόπος είναι να πραγματοποιηθούν πειράματα σε δεξαμενή με πρότυπο μοντέλο και να εξαχθούν τα αποτελέσματα άμεσα από μετρητικά όργανα. Ένας άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν μοντέλα που βασίζονται στις αρχές της μηχανικής των ρευστών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων όπως είναι η υπολογιστική δυναμική του ρευστού (CFD), καθώς και τεχνικές υπολογιστικής υδροδυναμικής όπως είναι η μέθοδος 3D Panel. Τέλος υπάρχουν και τα θεωρητικά μοντέλα τα οποία αποτελούνται από απλές μαθηματικές σχέσεις και εμπειρικούς συντελεστές. Η παρούσα εργασία εστιάζεται στην τελευταία μέθοδο, κατά την οποία γίνεται χρήση θεωρητικών μοντέλων.

Μετά από τον υπολογισμό των πρόσθετων αντιστάσεων ακολουθεί ο υπολογισμός της διορθωμένης ισχύος η οποία προκύπτει από την συμβολή των πρόσθετων αντιστάσεων και αποτυπώνει την επίδραση που φέρουν οι εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Τέλος έχοντας στην διάθεση όλα τα προηγούμενα δεδομένα καθίσταται δυνατό να παραχθούν οι δείκτες απώλειας ταχύτητας και αύξησης ισχύος, όπου σύμφωνα με αυτούς προκύπτει η αξιολόγηση της αποδοτικότητας σε όλη την διάρκεια λειτουργίας του πλοίου.

1.2 Βιβλιογραφικές Αναφορές

Στην εργασία των Shukui Liua και Apostolos Papanikolaou (2020) ελέγχεται κατά πόσο μία θεωρητική μέθοδος μπορεί να προσεγγίσει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις πειραματικές μεθοδολογίες όσων αφορά την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού για διάφορες κατευθύνσεις. Στην εργασία αυτή αναλύονται 130 πλοία με δεδομένα από πειράματα στα οποία εφαρμόζονται οι θεωρητικές μέθοδοι που βασίζονται στον ασυμπτωτικό τύπο του Faltinsen et al.(1980) για μικρά μήκη κύματος, και στον τύπο Jinkine and Ferdinande (1974) για μεγαλύτερα μήκη κύματος. Στις μεθοδολογίες αυτές εφαρμόστηκαν και περαιτέρω τροποποιήσεις που σχετίζονται με το βύθισμα και την γεωμετρία του πλοίου προκειμένου να παρέχονται καλύτερα αποτελέσματα. Από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων προέκυψε πως η θεωρητική μέθοδος παρουσιάζει πολύ καλή προσέγγιση συγκριτικά με τα αποτελέσματα από τα πειράματα.

Στο άρθρο των Dong-Min Park et al. (2019) εξετάζονται τα αποτελέσματα της πρόσθετης αντίστασης για ένα δεξαμενόπλοιο στην ταχύτητα σχεδίασης, αξιοποιώντας δύο πειραματικά μοντέλα και δύο αλγοριθμικά μοντέλα αριθμητικής ανάλυσης εστιάζοντας σε διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης. Οι μεθοδολογίες αριθμητικών αναλύσεων που χρησιμοποιούνται είναι αυτή της διατήρησης της ορμής βασιζόμενη στην θεωρία των λωρίδων, και η άμεση ολοκλήρωση των πιέσεων στον τομέα του χρόνου βασιζόμενη στην μέθοδο τρισδιάστατης ανάλυσης Rankine. Από τα αποτελέσματα προέκυψε πως η μέθοδος Rankine συμπίπτει ικανοποιητικά με τα αποτελέσματα των πειραματικών μεθόδων, ενώ η μέθοδος των λωρίδων υπερεκτιμούσε την πρόσθετη αντίσταση. Επιπλέον παρατηρήθηκε πως η πρόσθετη αντίσταση για κατευθύνσεις μικρότερες από 120° αρχίζει να μειώνεται σημαντικά.

Στο άρθρο του Tomasz Cerpowski (2019) γίνεται χρήση μεθόδου τεχνητής νοημοσύνης (ANN) για τον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης σε μετωπικούς κυματισμούς. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η διαδικασία (MPL) η οποία περιλαμβάνει 6 νευρώνες στην είσοδο και κρυμμένα επίπεδα στον καθένα από αυτά και ένα νευρώνα στο επίπεδο εξόδου. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας συγκρίνονται με αυτά της μεθόδου Stawave 2 καθώς και με τα πειραματικά αποτελέσματα για διάφορους τύπους πλοίων και ταχύτητες F_n . Από την συνολική αποτύπωση των τριών αυτών μεθοδολογιών σε αντίστοιχα διαγράμματα φαίνεται πως η μέθοδος της τεχνητής νοημοσύνης σχεδόν ταυτίζεται με τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών.

1.3 Στόχος

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παραχθούν και να συγκριθούν οι δείκτες αξιολόγησης της αποδοτικότητας των πλοίων σε σχέση με την ρύπανση της γάστρας και της έλικας, που συνδέονται άμεσα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες πλεύσης. Οι δείκτες που μελετώνται εκφράζουν την αύξηση ισχύος που απαιτείται προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η ταχύτητα, ή την απώλεια ταχύτητας που υφίσταται για δεδομένη ισχύ λόγω της επίδρασης του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η παραγωγή τους πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού των πρόσθετων αντιστάσεων που προκαλούνται από τον άνεμο και τους κυματισμούς με αποτέλεσμα την μεταβολή στην τελική ισχύ που καλείται να καλύψει η έλικα. Για την διαδικασία υπολογισμού των πρόσθετων αντιστάσεων χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά θεωρητικά μοντέλα προκειμένου να εκτιμηθούν οι διαφορές τους. Τέλος, η συνολική παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται σε υπό μελέτη πλοίο ώστε να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα με πραγματικά δεδομένα.

Έτσι οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας συνοψίζονται παρακάτω:

- Να εξεταστούν μεθοδολογίες των θεωρητικών μοντέλων.
- Να εκτιμηθεί η πρόσθετη αντίσταση και κατ'επέκταση η πρόσθετη ισχύς.
- Να υπολογιστούν οι δείκτες αξιολόγησης απόδοσης.
- Να εφαρμοστούν όλα τα παραπάνω βήματα σε πραγματικά δεδομένα πλοίου και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα.

Συνολικά η εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια, το περιεχόμενο των οποίων αναγράφεται στην συνέχεια.

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων όσον αφορά την αξιολόγηση της αποδοτικότητας, ενώ επιπλέον παρατίθενται τα διαγράμματα ροής που ακολουθούνται.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται τα θεωρητικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην εργασία για τον υπολογισμό της πρόσθετης αντίστασης λόγω ανέμου και κυματισμού καθώς και της προκύπτουσας πρόσθετης ισχύος.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η παρουσίαση των δεδομένων και των κύριων χαρακτηριστικών του υπό μελέτη πλοίου καθώς και η παραγωγή πρόσθετων δεδομένων από την αρχική επεξεργασία αυτών, για την υλοποίηση των μεθοδολογιών.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεθοδολογιών που προέκυψαν από την εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες πλεύσης και συνεχή δεδομένα στο υπό μελέτη πλοίο για την ερματισμένη και φορτωμένη κατάσταση.

Στο κεφάλαιο 6 αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων όπως αυτά αποτυπώνονται από τους δείκτες απώλειας ταχύτητας και αύξησης ισχύος, ενώ παρατίθενται και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2 Μέθοδοι Υπολογισμού της Ισχύος Πρόωσης και Δεικτών Απόδοσης

Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυση δεδομένων ποικίλουν δεδομένου ότι κάθε μια από αυτές θέτει διαφορετικούς περιορισμούς ως προς τα δεδομένα που θα αξιοποιηθούν στην ανάλυση, αλλά και ξεχωριστή βαρύτητα στους συντελεστές που θα διαμορφώσουν το τελικό αποτέλεσμα. Στην εργασία αυτή έχουν επιλεγεί η μέθοδος του ISO 19030 (Ships and marine technology - Measurement of changes in hull and propeller performance. Part 2: Default method) που σχετίζεται με την εξέταση αλλαγών στην απόδοση της έλικας και της γάστρας του πλοίου, και αυτή της ITTC (ITTC 2017) που μελετάται κατά την διάρκεια των θαλάσσιων δοκιμών.

2.1 Μέθοδος ISO

Η μέθοδος του ISO 19030 (ISO 2016) αποτελεί μια αναλυτική μέθοδο, σκοπός της οποίας είναι ο έλεγχος των αλλαγών στην απόδοση της γάστρας και της έλικας, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση που μπορεί να φέρει η συντήρηση ή η επισκευή του πλοίου. Επιπλέον δύναται να υπολογιστεί η επίπτωση που μπορεί να προκληθεί στο πλοίο λόγω της ρύπανσης της γάστρας και της έλικας. Η βασική αρχή για την επίτευξη αυτού του σκοπού είναι παραγωγή δεικτών που αφορούν όλες τις περιόδους ζωής του πλοίου, δηλαδή για τις συντηρήσεις τις επισκευές καθώς και τις ανακατασκευές ή βελτιώσεις που διενεργούνται σε αυτό. Πιο συγκεκριμένα η ανάλυση πραγματοποιείται γύρω από τέσσερις δείκτες, όπου ο κάθε ένας έχει μια περίοδο αναφοράς και μία περίοδο αξιολόγησης. Οι πρώτοι δύο δείκτες συνδέονται με την κατάσταση του ξηρού δεξαμενισμού και τις αλλαγές που αυτός επιφέρει στην αποτελεσματικότητα. Από τους άλλους δύο δείκτες ο ένας ασχολείται με την πρόβλεψη του διαστήματος στο οποίο το πλοίο θα χρήξει συντήρησης, ενώ ο τελευταίος μελετά την επίδραση μεμονωμένων ενεργειών που έχουν υλοποιηθεί στο πλοίο και τα αποτελέσματα αυτών.

Η μέθοδος αυτή επικεντρώνει την ανάλυσή της στην αξιολόγηση των αλλαγών που υφίσταται η κατανάλωση καυσίμου και η ισχύς, προκειμένου να κατανοηθούν οι επιπτώσεις της γάστρας και της έλικας. Για την διαδικασία αυτή αρχικά απαιτείται να μετρηθεί η αποδιδόμενη ισχύς του πλοίου, ο υπολογισμός της οποίας πραγματοποιείται με δύο τρόπους οι οποίοι εξαρτώνται από τα δεδομένα που δύναται να παραχθούν από τα μετρητικά μηχανήματα του πλοίου. Έτσι προκύπτουν η ισχύς στον άξονα της έλικας με βάση την ροπή του άξονα, η οποία προκύπτει μετά από την έξοδο της μηχανής και αφού περάσει από τον μειωτήρα και τα πιθανά συστήματα μετάδοσης, και η ισχύς πέδης η οποία αναφέρεται στην ισχύ που μετριέται αμέσως μετά την μηχανή πριν παρεμβληθεί κάποια συσκευή και υπολογίζεται σύμφωνα με την καμπύλη αναφοράς της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η ισχύς στον άξονα της έλικας.

Συνεχίζοντας την διαδικασία για την αξιολόγηση της απόδοσης της γάστρας και της έλικας σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι εξωτερικές συνθήκες οι οποίες ενεργούν άμεσα στην απόδοση. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη μόνο την πρόσθετη αντίσταση του ανέμου και

συνεπώς η τελική ισχύ προκύπτει από την διόρθωση της αποδιδόμενης ισχύος σύμφωνα με την πρόσθετη ισχύ που προκαλεί η επίδραση του ανέμου.

Με τον υπολογισμό της τελικής ισχύος μπορεί πλέον να εφαρμοστεί η βασική αρχή της μεθοδολογίας που είναι οι δείκτες απόδοσης που στην προκειμένη περίπτωση οι δείκτες αυτοί είναι ο δείκτης απώλειας ταχύτητας και ο δείκτης αύξησης της ισχύος. Οι δείκτες προκύπτουν από την ποσοστιαία διαφορά της μετρημένης ποσότητας (m) από την αναμενόμενη τιμή (e) που θα είχε το πλοίο από τις καμπύλες αναφοράς του ($P - V$). Οι καμπύλες αναφοράς που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αναμενόμενων τιμών προκύπτουν από τις δοκιμές θαλάσσης του πλοίου. Σημειώνεται ότι δύναται να χρησιμοποιηθούν λειτουργικά δεδομένα του πλοίου προκειμένου να χαραχθεί η καμπύλη αυτή. Οι δείκτες αυτοί ορίζονται σύμφωνα με το ISO (2016) ως εξής:

$$V_d = \frac{V_m - V_e}{V_e} \cdot 100 \quad (2.1)$$

$$P_d = \frac{P_m - P_e}{P_e} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Όπου:

V_m : η μετρημένη ταχύτητα του πλοίου,

V_e : η αναμενόμενη ταχύτητα του πλοίου,

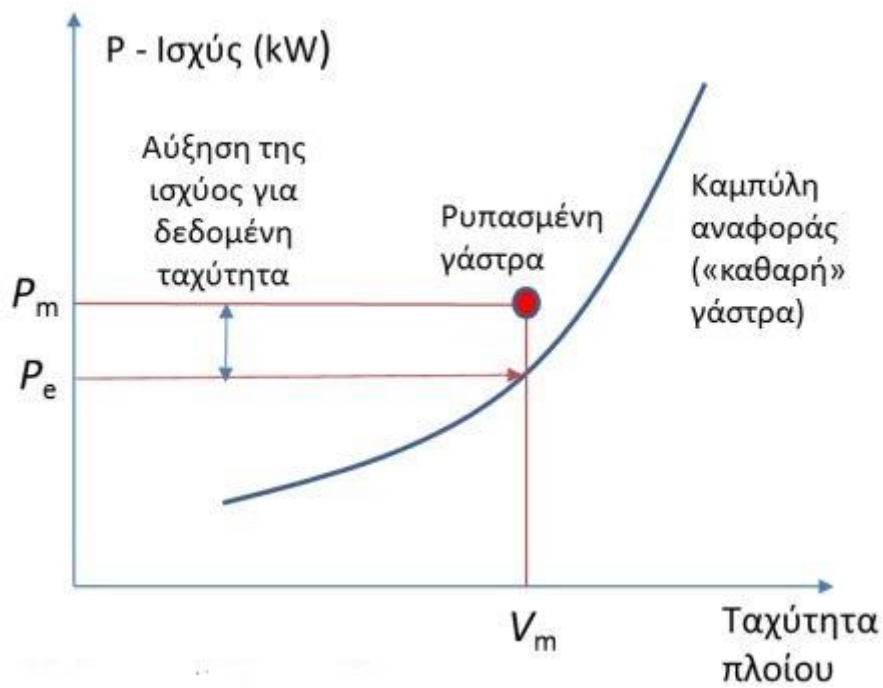
V_d : η ποσοστιαία απώλεια ταχύτητας,

P_m : η μετρημένη ισχύ του πλοίου,

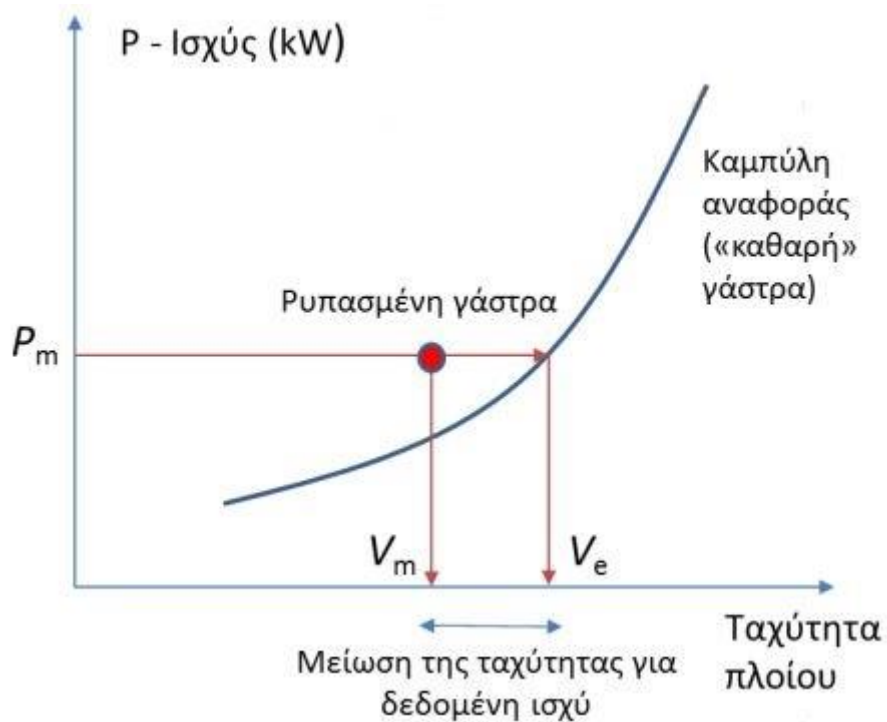
P_e : η αναμενόμενη ισχύ του πλοίου,

P_d : η ποσοστιαία αύξηση ισχύος.

Παρακάτω παρουσιάζονται από τις σημειώσεις του μαθήματος "Αξιολόγηση Συμπεριφοράς και Απόδοσης Πλοίων", (2020), κάποια ενδεικτικά διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται η λειτουργία των προηγούμενων δεικτών.



Εικόνα 2.1. Δείκτης αύξησης της ισχύος.



Εικόνα 2.2 Δείκτης απώλειας ταχύτητας.

Στην περίπτωση που εξετάζονται δεδομένα που σχετίζονται με καταστάσεις αναφοράς θα πρέπει να πληρούνται τα παρακάτω κριτήρια (ISO 2016).

- Η θερμοκρασία του νερού να είναι μεγαλύτερη των 2 °C ώστε να εξασφαλίζεται ότι το πλοίο δεν πλέει σε πάγο.
- Η ταχύτητα του ανέμου να είναι μεταξύ 0 και $7.9 \frac{m}{s}$ ή σε κλίμακα Beaufort BF 0 έως BF 4.
- Το βάθος του νερού να είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο των παρακάτω τύπων $h = 3\sqrt{B \cdot T_M}$ και $h = 2.75 \frac{V_S^2}{g}$.

Όπου

h: βάθος νερού [m]

B: πλάτος του πλοίου [m]

T_M: το βύθισμα στο μέσο του πλοίου ή το μέσο βύθισμα [m]

V_S: ταχύτητα του πλοίου [$\frac{m}{s}$]

g: επιτάχυνση της βαρύτητας [$\frac{m}{s^2}$]

- Η τελική ισχύς πρέπει να βρίσκεται εντός του εύρους που αναφέρεται από την καμπύλη αναφοράς ταχύτητας-ισχύος ή της καμπύλης ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.
- Το εκτόπισμα θα πρέπει να αποκλίνει έως $\pm 5\%$ από αυτό που προκύπτει από την καμπύλη αναφοράς ταχύτητας-ισχύος.
- Η γωνία εκτροπής του πηδαλίου δεν πρέπει να ξεπερνάει τις 5° .

Δεδομένου ότι η μέθοδος αυτή δεν συμπεριλαμβάνει όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές στην απόδοση, θα εξεταστεί η μέθοδος της ITTC (Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials) και πιο συγκεκριμένα θα εστιαστεί το κομμάτι της πρόσθετης αντίστασης του κυματισμού προκειμένου να μελετηθεί η βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας του ISO όσον αφορά τα αποτελέσματα της βασικής αρχής του.

2.2 Μέθοδος ITTC

Η μέθοδος της ITTC εφαρμόζεται στις θαλάσσιες δοκιμές πλοίων και αποσκοπεί στην εύρεση της ακριβούς καμπύλης ισχύος ταχύτητας που αφορά πλέον την πραγματική κατάσταση του πλοίου. Όπως είναι αναμενόμενο η μέθοδος αυτή εστιάζει σημαντικά στους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιφέρουν αλλαγές στις μεταβλητές του πλοίου, ενώ παράλληλα απαιτεί ήρεμες καταστάσεις θάλασσας προκειμένου να μην υπάρχουν μεγάλες μεταβολές. Το γεγονός

ότι αναφέρεται σε θαλάσσιες δοκιμές οδηγεί την μεθοδολογία σε αρκετά σημεία σε μία επαναληπτική διαδικασία για την εκροή του αποτελέσματος, πράγμα το οποίο δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην ανάλυση αποδοτικότητας πλοίου σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ως προς τις επιδράσεις από το περιβάλλον η μεθοδολογία επεξεργάζεται τις πρόσθετες αντιστάσεις του ανέμου, του κυματισμού και αυτή λόγω διαφορετική θερμοκρασίας και πυκνότητας του νερού. Επιπλέον αναφέρεται και στην πρόσθετη αντίσταση που δημιουργείται λόγω λειτουργίας σε ρηχό νερού. Από αυτές τις πρόσθετες αντιστάσεις ιδιαίτερης σημασίας είναι αυτή του ανέμου και του κυματισμού λόγω του μεγέθους τους. Στην πρόσθετη αντίσταση του ανέμου μελετώνται διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορούν να προκύψουν οι συντελεστές αντίστασης ανέμου προκειμένου να προσεγγιστεί καλύτερα το τελικό αποτέλεσμα. Η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού υπολογίζεται από μια σειρά διαφορετικών μεθοδολογιών που διαμορφώνουν την τιμή της αντίστασης με διαφορετικές προσεγγίσεις. Όσον αφορά τους περιορισμούς που θέτει η μέθοδος αυτοί δεν θα ληφθούν υπόψη δεδομένου ότι είναι πολύ αυστηροί για τον λόγο ότι απαιτούν ιδανικές συνθήκες πλευσης που να μην αποκλίνουν από την καμπύλη λειτουργίας του πλοίου.

2.3 Διαγράμματα Ροής Υπολογισμού

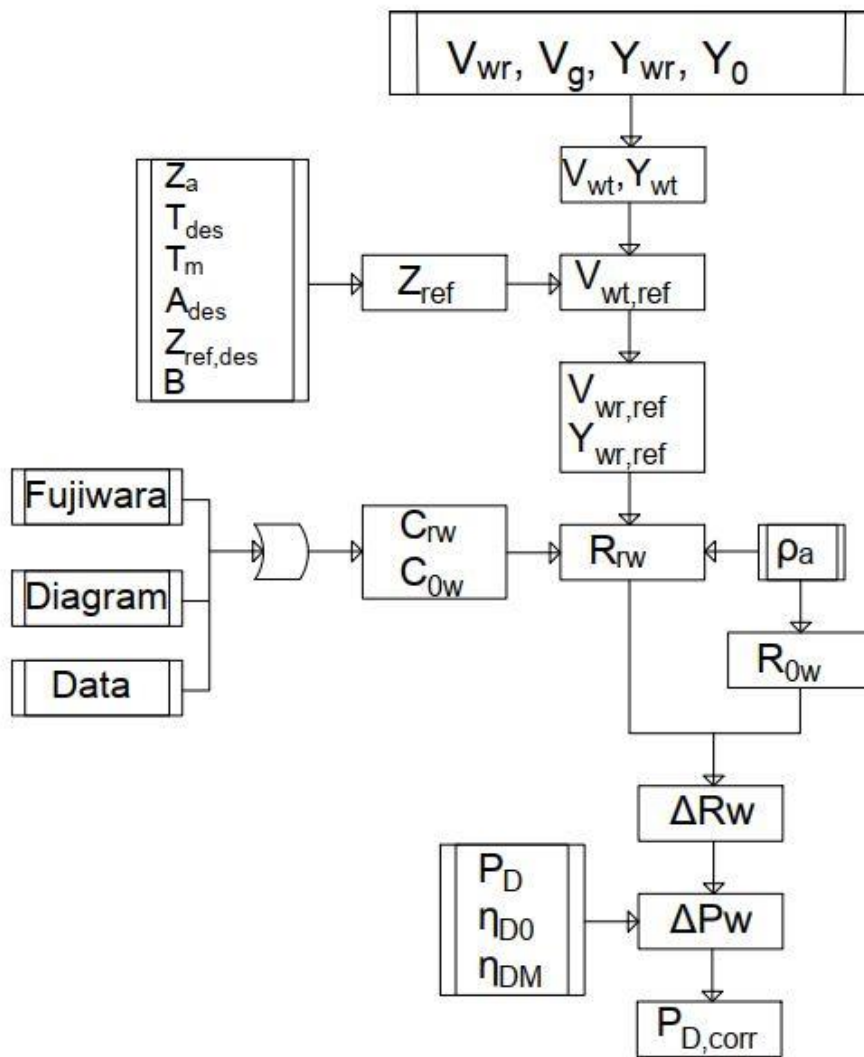
Τα διαγράμματα ροής παρουσιάζουν την πορεία που ακολουθείται για τον υπολογισμό της κάθε μίας μεθοδολογίας. Έτσι η επεξεργασία και η ανάλυση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται παρατίθενται σε αυτό το σημείο σε μορφή διαγράμματος ροής προκειμένου να διευκρινιστούν και κατανοηθούν τα βήματα που ακολουθούν για την υλοποίηση αυτών.

Ξεκινώντας με την πρώτη μεθοδολογία αυτή της ISO 19030, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Εισαγωγή ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου και του πλοίου.
2. Υπολογισμός πραγματικής ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου.
3. Εισαγωγή του βυθίσματος, επιφάνειας, πλάτους και υψών ανεμόμετρου και αναφοράς πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.
4. Υπολογισμός του ύψους αναφοράς από το επίπεδο της θάλασσας και στην συνέχεια της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου στο ύψος αυτό.
5. Υπολογισμός σχετικής ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου σε αυτό το ύψος
6. Υπολογισμός συντελεστών αντίστασης ανέμου επιλέγοντας μια από τις τρεις μεθοδολογίες
7. Υπολογισμός πρόσθετης αντίστασης λόγω του σχετικού ανέμου
8. Υπολογισμός αντίστασης του αέρα σε κατάσταση άπνοιας
9. Εισαγωγή μετρούμενης ισχύος και των συντελεστών απόδοσης πρόωσης
10. Υπολογισμός τελικής τιμής της ισχύος

Τα βήματα αυτά απεικονίζονται στην εικόνα 2.3

ISO CALCULATION OF CORRECTED POWER

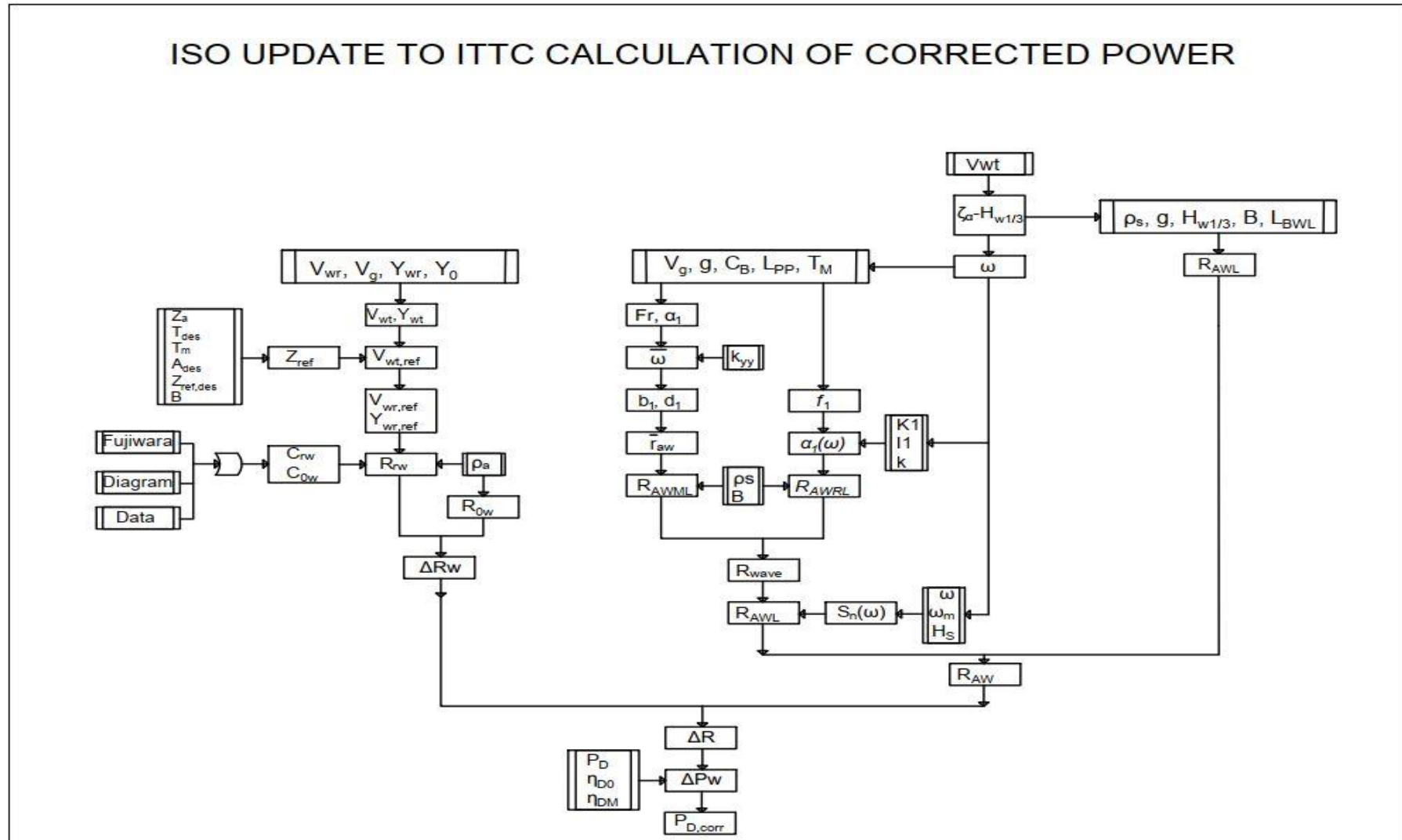


Εικόνα 2.3. Διάγραμμα ροής για την διόρθωση της ισχύος σύμφωνα με την μεθοδολογία του ISO 19030.

Η δεύτερη μεθοδολογία που αναλύεται είναι αυτή της ITTC της οποίας το διάγραμμα φαίνεται στην εικόνα 1.2. Σημειώνεται πως η διαδικασία υπολογισμού της πρόσθετης αντίστασης λόγω ανέμου είναι η ίδια με αυτή του ISO 19030 τα βήματα αυτά θα παραληφθούν.

1. Εισαγωγή πραγματικής ταχύτητας του ανέμου και επιτάχυνσης της βαρύτητας.
2. Υπολογισμός σημαντικού ύψους κύματος και το πλάτος αυτού.
3. Εισαγωγή πυκνότητας του νερού, του πλάτους του πλοίου και του μήκους L_{BWL} .
4. Υπολογισμός πρόσθετης αντίστασης λόγω κυματισμού σύμφωνα με την μέθοδο STAWAVE – 1
5. Εισαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών πλοίου
6. Υπολογισμός συντελεστή Froude και a_1 .
7. Εισαγωγή k_{yy} και υπολογισμός $\bar{\omega}$.
8. Υπολογισμός b_1 , d_1 .
9. Υπολογισμός \bar{r}_{aw} .
10. Υπολογισμός πρόσθετης αντίστασης κυματισμού εξαιτίας κίνησης του κύματος.
11. Υπολογισμός συντελεστή f_1 .
12. Εισαγωγή συναρτήσεων Bessel K_1, I_1 και κυματαριθμού κ
13. Υπολογισμός συντελεστή $a_1(\omega)$
14. Υπολογισμός πρόσθετης αντίστασης κυματισμού λόγω ανάκλασης
15. Υπολογισμός αντίστασης κυματισμού R_{WAVE}
16. Εισαγωγή ω_m
17. Υπολογισμός φάσματος
18. Υπολογισμός πρόσθετης αντίστασης κυματισμού
19. Υπολογισμός συνολικής πρόσθετης αντίστασης
20. Εισαγωγή μετρούμενης ισχύος και συντελεστών απόδοσης πρόωσης
21. Υπολογισμός τελικής τιμής της ισχύος

ISO UPDATE TO ITTC CALCULATION OF CORRECTED POWER



Εικόνα 2.4. Διάγραμμα ροής για την διόρθωση της ισχύος σύμφωνα με την μεθοδολογία του ISO 19030, βελτιωμένο με την μεθοδολογία της ITTC.

2.4 Περιγραφή Προβλήματος

Το πρόβλημα της αποδοτικότητας του πλοίου ξεκινάει από το γεγονός ότι οι επιδράσεις των πρόσθετων αντιστάσεων επιφέρουν αλλαγές στην επιτευχθείσα ταχύτητα του πλοίου. Η αλλαγή αυτή μεταβάλλει την απαιτούμενη ισχύ, η οποία μεταβάλλει κατ'επέκταση και την κατανάλωση προκειμένου να ικανοποιηθεί η πρότερη απαιτούμενη ταχύτητα. Η αύξηση που προκαλείται στην απαιτούμενη ισχύ προέρχεται κυρίως από την επίδραση του ανέμου και των ανεμογενών κυματισμών.

Η επίδραση που φέρει ο άνεμος οφείλεται στην πίεση που ασκεί στο πλοίο. Το μέγεθος της πίεσης εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και από την επιφάνεια του πλοίου που εκτίθεται στον άνεμο. Η εκτεθειμένη επιφάνεια του πλοίου αποτελείται κυρίως από τις υπερκατασκευές καθώς και από την επιφάνεια της γάστρας που βρίσκεται έξω από το νερό. Όπως γίνεται αντιληπτό η εκτεθειμένη επιφάνεια δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την κατάσταση φόρτωσης και πιο συγκεκριμένα από το βύθισμα του πλοίου.

Τα ανεμογενή κύματα αποτελούν επιφανειακά κύματα τα οποία δημιουργούνται από την ενέργεια την οποία αυτά αντλούν από την ορμή του ανέμου που επιδρά στην επιφάνεια του νερού. Το μέγεθος των κυματισμών αυτών εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, από την διάρκεια του ανέμου καθώς και από το βάθος του νερού. Συγκεκριμένα όσο μεγαλώνουν οι παραπάνω παράγοντες τόσο μεγαλύτερο το ύψος, η περίοδος και το μήκος κύματος που προκύπτει. Για την μέτρηση του κύματος έχει επικρατήσει το σημαντικό ύψος κύματος το οποίο αναφέρεται στο μέσο όρο του ενός τρίτου από τα υψηλότερα ύψη κύματος. Στην παρούσα εργασία θα εξεταστούν δεδομένα που αναφέρονται σε μεγάλο βάθος νερού και πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα, όπου με τον όρο αυτό εννοείται ότι η διάρκεια του ανέμου και η επιφάνεια της θάλασσας που επηρεάζεται είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε το κύμα να έχει αναπτυχθεί πλήρως για αυτή την ταχύτητα του ανέμου.

Το φάσμα της ανύψωσης της ελεύθερης επιφάνειας περιγράφει την κατανομή της ενέργειας που περιέχεται στους τυχαίους κυματισμούς για διαφορετικές συχνότητες και καταστάσεις θάλασσας. Ο υπολογισμός του πραγματοποιείται μέσω μαθηματικών σχέσεων όπως αυτή του Bretschneider η οποία αναφέρεται σε πλήρως ανεπτυγμένες θάλασσες. Οι σχέσεις εξαρτώνται από δύο παραμέτρους το σημαντικό ύψος κύματος και την συχνότητα κορυφής του φάσματος.

3 Πρόσθετες Αντιστάσεις

Οι αντιστάσεις που επιδρούν στο πλοίο και θα μελετηθούν στην εργασία αφορούν πρόσθετες αντιστάσεις οι οποίες διαμορφώνουν την τελική ισχύ και ταχύτητα του πλοίου και οφείλονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες πλέει το πλοίο. Η μελέτη θα εστιάσει στην πρόσθετη αντίσταση λόγω ανέμου καθώς και λόγω κυματισμού. Έτσι η συνολική πρόσθετη αντίσταση θα προκύπτει από το άθροισμα αυτών των δύο δηλαδή:

$$\Delta R = R_{wind} + R_{wave}$$

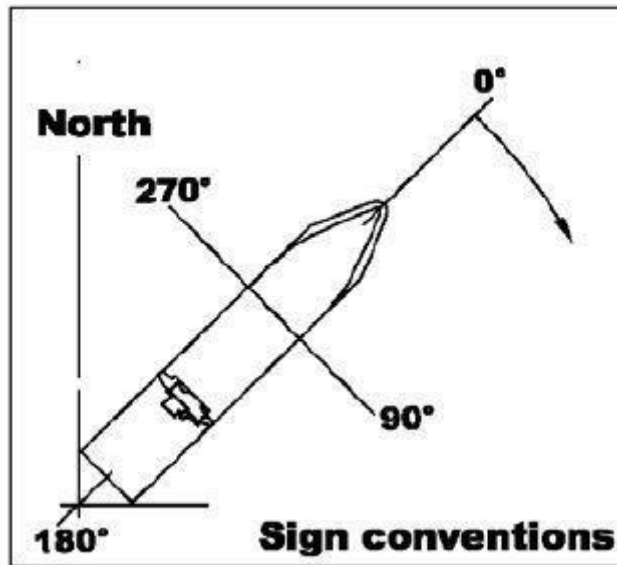
Σύμφωνα με την τιμή της πρόσθετης αντίστασης θα υπολογιστεί τελικά η ισχύς του πλοίου έτσι ώστε να συγκριθεί στην συνέχεια με την ισχύ που μετράται στο πλοίο μέσω των δεικτών που θα παραχθούν.

3.1 Πρόσθετη Αντίσταση Ανέμου

Ο υπολογισμός της αντίστασης του ανέμου είναι κοινός και για τις δύο μεθόδους. Η διαδικασία υπολογισμού της ξεκινάει με τις βασικές μεταβλητές που είτε υπολογίζονται είτε προκύπτουν άμεσα από τα δεδομένα σημεία που έχουν παραχθεί και είναι οι παρακάτω:

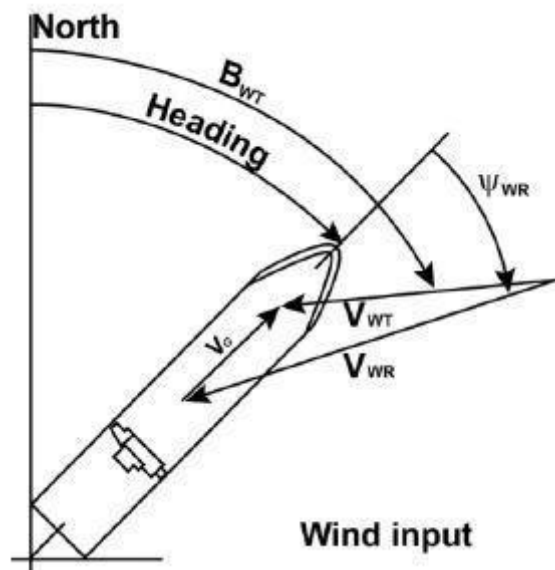
- V_g : η σχετική ταχύτητα πλοίου - εδάφους [$\frac{m}{s}$]
- Ψ_0 : η κατεύθυνση του πλοίου [degree]
- V_{wt} : η πραγματική ταχύτητα του ανέμου [$\frac{m}{s}$]
- Ψ_{wt} : η πραγματική κατεύθυνση του ανέμου [degree]
- V_{wr} : η σχετική ταχύτητα του ανέμου [$\frac{m}{s}$]
- Ψ_{wr} : η σχετική κατεύθυνση του ανέμου [degree]

Στα επόμενα δύο σχέδια που ακολουθούν απεικονίζονται τα παραπάνω στοιχεία και πιο συγκεκριμένα στην εικόνα 3.1 φαίνονται οι σχετικές κατευθύνσεις του πλοίου,



Εικόνα 3.1. Σύμβαση της κατεύθυνσης του πλοίου (ISO 2016).

ενώ στην εικόνα 3.2 παρουσιάζονται η πραγματική και η σχετική ταχύτητα του ανέμου καθώς και οι κατευθύνσεις αυτών και επιπλέον η ταχύτητα του πλοίου πάνω από το έδαφος και η κατεύθυνσή του.



Εικόνα 3.2. Σύμβαση των κατευθύνσεων του ανέμου (ISO 2016).

Ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού της αντίστασης του ανέμου. Πρώτα υπολογίζεται η πραγματική ταχύτητα του ανέμου και η πραγματική κατεύθυνσή του σύμφωνα με την κατακόρυφη θέση στην οποία βρίσκεται το ανεμόμετρο και λαμβάνει τα σχετικά στοιχεία, ακολουθώντας τις παρακάτω σχέσεις.

$$V_{wt} = \sqrt{V_{wr}^2 + V_g^2 - 2 \cdot V_{wr} \cdot V_g \cdot \cos(\Psi_{wr})} \quad (3.1)$$

Για τον υπολογισμό της πραγματικής κατεύθυνσης του ανέμου διακρίνονται δύο περιπτώσεις ανάλογα με το πρόσημο του παρονομαστή:

$$\Psi_{wt} = \left(\frac{V_{wr} \cdot \sin(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \sin(\Psi_0)}{V_{wr} \cdot \cos(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \cos(\Psi_0)} \right) \quad (3.2)$$

Όταν $V_{wr} \cdot \cos(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \cos(\Psi_0) \geq 0$ και

$$\Psi_{wt} = \left(\frac{V_{wr} \cdot \sin(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \sin(\Psi_0)}{V_{wr} \cdot \cos(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \cos(\Psi_0)} \right) + 180 \quad (3.3)$$

Όταν $V_{wr} \cdot \cos(\Psi_{wr} + \Psi_0) - V_g \cdot \cos(\Psi_0) < 0$ (3.4)

Στην συνέχεια πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός της πραγματικής ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου με βάση το ύψος αναφοράς το οποίο έχει ληφθεί είτε στις δοκιμές αεροσήραγγας είτε έχει ληφθεί αυθαίρετα ως 10 μέτρα. Αυτή η μετατροπή εφαρμόζεται διότι οι συντελεστές αντίστασης υπολογίζονται με βάση αυτό το ύψος. Ο υπολογισμός της πραγματικής ταχύτητας στο ύψος αναφοράς υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση (3.5) όπου όμως πρέπει να υπολογισθεί το ύψος αναφοράς.

$$V_{wt,ref} = V_{wt} \cdot \left(\frac{Z_{ref}}{Z_a} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (3.5)$$

Όπου

$V_{wt,ref}$: πραγματική ταχύτητα ανέμου προσαρμοσμένο στο ύψος αναφοράς [$\frac{m}{s}$]

Z_{ref} : το ύψος αναφοράς πάνω από την στάθμη της θάλασσας [m]

Z_a : το ύψος του ανεμόμετρου πάνω από την στάθμη της θάλασσας [m]

$$\Delta T = T_{des} - T \quad (3.6)$$

$$A = A_{des} + \Delta T \cdot B \quad (3.7)$$

$$Z_a = Z_{a,des} + \Delta T \quad (3.8)$$

Τελικά το ύψος αναφοράς με βάση το οποίο θα εκτιμηθεί η αντίσταση του ανέμου προκύπτει από την σχέση

$$Z_{ref} = \frac{A_{des} \cdot (Z_{ref,des} + \Delta T) + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \Delta T^2}{A} \quad (3.9)$$

Όπου τα χρησιμοποιηθέντα μεγέθη είναι τα εξής:

ΔT : η διαφορά του τρέχοντος βύθισματος από αυτό της σχεδίασης [m]

T_{des} : το βύθισμα σχεδίασης του πλοίου [m]

T : το τρέχων βύθισμα του πλοίου [m]

A_{des} : η προβεβλημένη εγκάρσια επιφάνεια του πλοίου στην τρέχουσα κατάσταση φόρτισης [m²]

B : το πλάτος του πλοίου [m]

$Z_{a,des}$: το κατακόρυφο ύψος του ανεμόμετρου από την επιφάνεια της θάλασσας για την κατάσταση σχεδιασμού [m]

$Z_{ref,des}$: το κατακόρυφο ύψος αναφοράς από την επιφάνεια της θάλασσας για την κατάσταση σχεδιασμού [m]

Ακολουθεί ο υπολογισμός της σχετικής ταχύτητας του ανέμου στο ύψος αναφοράς της τρέχουσας κατάστασης.

$$V_{wr,ref} = \sqrt{V_{wt,ref}^2 + V_g^2 - 2 \cdot V_{wt,ref} \cdot V_g \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0)} \quad (3.10)$$

Με βάση αυτήν την ταχύτητα τώρα υπολογίζεται η σχετική κατεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου στο αναφορικό ύψος της τρέχουσας κατάστασης.

$$\Psi_{wr,ref} = \left(\frac{V_{wt,ref} \cdot \sin(\Psi_{wt} - \Psi_0)}{V_g + V_{wt,ref} \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0)} \right) \quad (3.11)$$

Όταν $V_g + V_{wt,ref} \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0) \geq 0$ και

$$\Psi_{wr,ref} = \left(\frac{V_{wt,ref} \cdot \sin(\Psi_{wt} - \Psi_0)}{V_g + V_{wt,ref} \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0)} \right) + 180 \quad (3.12)$$

Όταν $V_g + V_{wt,ref} \cdot \cos(\Psi_{wt} - \Psi_0) < 0$

Η εκτιμώμενη αντίσταση τελικά προκύπτει από τις σχέσεις

$$R_{rw} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V_{wr}^2 \cdot A \cdot C_{wr}(\Psi_{wr,ref}) \quad (3.13)$$

$$R_{0w} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V_g^2 \cdot A \cdot C_{0r}(0) \quad (3.14)$$

Με την πυκνότητα του αέρα να εκτιμάται από την σχέση

$$\rho_{\alpha} = \frac{p}{R \cdot (Temp + 273.15)} \quad (3.15)$$

Όπου

p : η πίεση του αέρα [Pa]

R : ειδική σταθερά των αερίων ίση προς 287.058 [$\frac{J}{kg \cdot K}$]

$Temp$: η θερμοκρασία του αέρα [$^{\circ}C$]

R_{rw} : η αντίσταση λόγω του σχετικού ανέμου [N]

R_{0w} : η αντίσταση του αέρα στην κατάσταση άπνοιας [N]

C_{rw} : συντελεστής αντίστασης ανέμου για κατεύθυνση του σχετικού ανέμου ίση με $\Psi_{wr,ref}$

C_{0w} : συντελεστής αντίστασης ανέμου για άνεμο με μηδενική γωνία πρόσπτωσης

ρ_{α} : η πυκνότητα του αέρα [$\frac{kg}{m^3}$]

Τελικά η πρόσθετη αντίσταση του ανέμου υπολογίζεται από την σχέση:

$$R_{AA} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\alpha} \cdot V_{wr}^2 \cdot A_{XV} \cdot C_{DA}(\Psi_{wr,ref}) - \frac{1}{2} \cdot \rho_{\alpha} \cdot V_g^2 \cdot A_{XV} \cdot C_{DA}(0) \quad (3.16)$$

Όπου:

ρ_{α} : η πυκνότητα του αέρα [$\frac{kg}{m^3}$]

V_{wr} : η σχετική ταχύτητα του ανέμου [$\frac{m}{s}$]

A_{XV} : η μέγιστη επιφάνεια εγκάρσιας τομής του πλοίου που εκτίθεται στον άνεμο [m^2]

$\Psi_{wr,ref}$: Η σχετική κατεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου στο αναφορικό ύψος της τρέχουσας κατάστασης.

C_{DA} : Συντελεστής αντίστασης ανέμου

V_g : η σχετική ταχύτητα πλοίου - εδάφους [$\frac{m}{s}$]

Σημειώνεται ότι στην παρούσα εργασία θα εφαρμοστεί μόνο η πρώτη συνιστώσα προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του ανέμου μόνο σύμφωνα και με το εδάφιο 4.3.3 της ITTC (2005), και συνεπώς ο δεύτερος όρος θα που αναφέρεται στην αντίσταση λόγω της κίνησης του πλοίου θα αμεληθεί.

3.1.1 Συντελεστές Αντίστασης Ανέμου

Ο υπολογισμός της αντίστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τα δεδομένα που διαθέτει το πλοίο και συνεπώς τον συντελεστή αντίστασης ανέμου που θα προκύψει και θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς.

- 1) Σε περίπτωση που έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα σε αεροσήραγγα τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή του συντελεστή αντίστασης που έχει προκύψει από το πειραματικό μοντέλο.
- 2) Ομοίως εάν διατίθενται δεδομένα για την τιμή του συντελεστή αντίστασης του ανέμου από προσομοίωση σε πρόγραμμα CFD

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα από πειράματα τότε:

Ο συντελεστής αντίστασης ανέμου υπολογίζεται σύμφωνα με δεδομένα από ήδη υπάρχοντα πλοία ή ο υπολογισμός του γίνεται με την χρήση της σχέσης του Fujiwara η οποία έχει προκύψει μετά από μελέτη στους συντελεστές αντιστάσεων ανέμου σε πλοία. Στην συνέχεια θα αναλυθεί η μέθοδος Fujiwara σύμφωνα με το εδάφιο F.3. της ITTC (2017).

3.1.2 Υπολογισμός Συντελεστών Αντίστασης Ανέμου με την Μέθοδο Fujiwara

Ο υπολογισμός των συντελεστών αντίστασης του ανέμου προκύπτουν μέσω μιας φόρμουλας η οποία έχει προκύψει από πειράματα αεροσήραγγας σε διάφορα πλοία. Έτσι έχει προκύψει ο παρακάτω τύπος

$$C_{DA} = C_{LF} \cdot \cos(\Psi_{wr}) + C_{XLI} \cdot \left(\sin(\Psi_{wr}) - \frac{1}{2} \cdot \sin(\Psi_{wr}) \cdot \cos(\Psi_{wr})^2 \right) \cdot \sin(\Psi_{wr}) \cdot \cos(\Psi_{wr}) + C_{ALF} \cdot \sin(\Psi_{wr}) \cdot \cos(\Psi_{wr})^3 \quad (3.17)$$

Όπου:

για $0 \leq \Psi_{wr} < 90^\circ$ ισχύει ότι

$$C_{LF} = \beta_{10} + \beta_{11} \cdot \frac{A_{YV}}{L_{OA} \cdot B} + \beta_{12} \cdot \frac{C_{MC}}{L_{OA}} \quad (3.18)$$

$$C_{XLI} = \delta_{10} + \delta_{11} \cdot \frac{A_{YV}}{L_{OA} \cdot h_{BR}} + \delta_{12} \cdot \frac{A_{YV}}{B \cdot h_{BR}} \quad (3.19)$$

$$C_{ALF} = \varepsilon_{10} + \varepsilon_{11} \cdot \frac{A_{OD}}{A_{YV}} + \varepsilon_{12} \cdot \frac{B}{L_{OA}} \quad (3.20)$$

Ενώ για $90^\circ \leq \Psi_{wr} < 180^\circ$

$$C_{LF} = \beta_{20} + \beta_{21} \cdot \frac{B}{L_{OA}} + \beta_{22} \cdot \frac{h_C}{L_{OA}} + \beta_{23} \cdot \frac{A_{OD}}{L_{OA}^2} + \beta_{24} \cdot \frac{A_{XV}}{B^2} \quad (3.21)$$

$$C_{XLI} = \delta_{20} + \delta_{21} \cdot \frac{A_{YV}}{L_{OA} \cdot h_{BR}} + \delta_{22} \cdot \frac{A_{XV}}{A_{YV}} + \delta_{23} \cdot \frac{B}{L_{OA}} + \delta_{24} \cdot \frac{A_{XV}}{B \cdot h_{BR}} \quad (3.22)$$

$$C_{ALF} = \varepsilon_{20} + \varepsilon_{21} \cdot \frac{A_{OD}}{A_{YV}} \quad (3.23)$$

Και για $\Psi_{wr} = 90^\circ$

$$C_{DA\Psi_{wr}=90} = \frac{1}{2} \cdot \left(C_{DA\Psi_{wr}=90-\mu} + C_{DA\Psi_{wr}=90+\mu} \right) \quad (3.24)$$

Όπου:

A_{OD} : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια των υπερκατασκευών,

A_{XV} : Η επιφάνεια της μέγιστης εγκάρσιας τομής που εκτίθεται στον άνεμο,

A_{YV} : Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια πάνω από την ίσαλο πλεύσης,

B : Το πλάτος του πλοίου,

C_{DA} : Συντελεστής αντίστασης ανέμου,

C_{MC} : Η οριζόντια απόσταση από την μέση τομή μέχρι το κέντρο της επιφάνειας A_{YV} ,

h_{BR} : Η κατακόρυφη απόσταση από την κορυφή των υπερκατασκευών μέχρι την ίσαλο πλεύσης,

h_C : Η κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο πλεύσης μέχρι το κέντρο της επιφάνειας A_{YV} ,

L_{OA} : Το ολικό μήκος του πλοίου,

μ : εύρος εξομάλυνσης

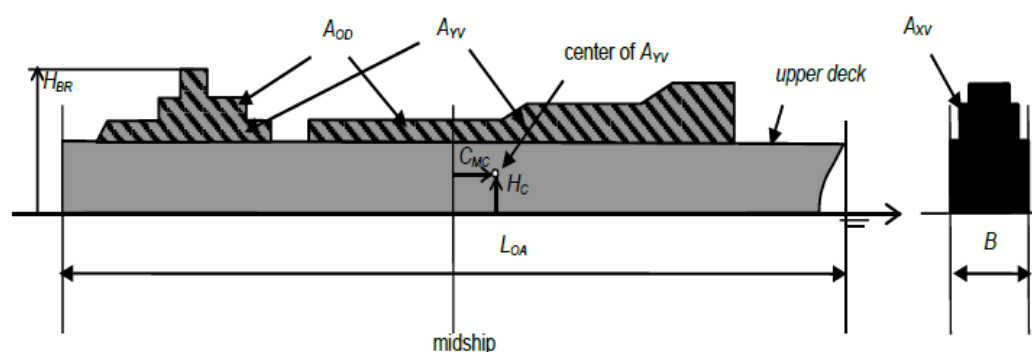
Ψ_{wr} : Η σχετική κατεύθυνση του ανέμου, όπου οι 0° σημαίνει μετωπικός άνεμος.

Για τους αδιάστατους συντελεστές β, δ και ε δίνεται ο πίνακας (3.1)

Πίνακας 3.1 Αδιάστατοι συντελεστές (ITTC 2017).

	i	j				
		0	1	2	3	4
β_{ij}	1	0.922	-0.507	-1.162	-	-
	2	-0.018	5.091	-10.367	3.011	0.341
δ_{ij}	1	-0.458	-3.245	2.313	-	-
	2	1.901	-12.727	-24.407	40.310	5.481
ϵ_{ij}	1	0.585	0.906	-3.239	-	-
	2	0.314	1.117	-	-	-

Για την καλύτερη κατανόηση των παραμέτρων που εισέρχονται στον τύπο του Fujiwara δίνεται η εικόνα (3.3)



Εικόνα 3.3. Παράμετροι της μεθόδου Fujiwara (ITTC 2017).

3.2 Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού

Η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού υπολογίζεται με δύο τρόπους όπως αναφέρεται και στην μέθοδο της ITTC στην ενότητα G, όπου η ειδοποιός διαφορά τους είναι το μέγεθος των κινήσεων του πλοίου κυρίως της κατακόρυφης ταλάντωσης και του προνευτασμού που προκαλούνται από την επίδραση των μετωπικών κυματισμών. Σημειώνεται πως για την κατεύθυνση των κυματισμών γίνεται η παραδοχή ότι συμπίπτει με την σχετική κατεύθυνση του ανέμου.

3.2.1 Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού (STAWAVE-1)

Η πρώτη περίπτωση αναφέρεται σε ήρεμη κατάσταση θάλασσας χωρίς την παρουσία μεγάλου ύψους κύματος, κατά την οποία η επιρροή που επιφέρει το μικρό ύψος των μετωπικών κυματισμών στις κινήσεις του πλοίου είναι μηδαμινές, λόγω της μεγάλης συχνότητας συνάντησης που οδηγεί σε μικρές αποκρίσεις του πλοίου. Αυτό αποτυπώνεται και από τις δύο προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου. Η πρώτη είναι ότι η κατακόρυφη επιτάχυνση στην περιοχή της πλώρης να μην ξεπερνάει τα 0.05g. Ενώ η δεύτερη αναφέρεται στο εύρος των κατευθύνσεων των κυματισμών που εξυπηρετεί η σχέση και αυτό είναι ± 45 μοίρες από τους μετωπικούς κυματισμούς στην πλώρη του πλοίου. Έτσι η πρόσθετη αντίσταση μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται αποκλειστικά στην αντίσταση λόγω ανάκλασης των κυματισμών, και η σχέση υπολογισμού της παρουσιάζεται παρακάτω:

$$R_{AWL} = \frac{1}{16} \cdot \rho_s \cdot g \cdot H_{W1/3}^2 \cdot B \cdot \sqrt{\frac{B}{L_{BWL}}} \quad (3.25)$$

Όπου:

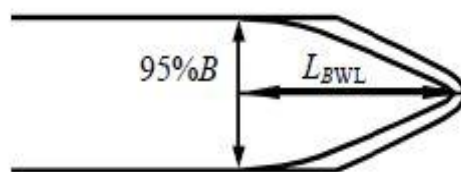
ρ_s : η πυκνότητα του νερού στην πραγματική θερμοκρασία και περιεκτικότητα σε αλάτι [$\frac{kg}{m^3}$]

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας [$\frac{m}{s^2}$]

$H_{W1/3}$: το σημαντικό ύψος κύματος λόγω ανέμου [m]

B : το πλάτος του πλοίου [m]

L_{BWL} : το μήκος από την πλώρη έως το σημείο που αντιστοιχεί στο 95% του μέγιστου πλάτους στην ίσαλο πλευράς του πλοίου [m]



Εικόνα 3.4 Μήκος L_{BWL} (ITTC 2017).

3.2.2 Πρόσθετη Αντίσταση Κυματισμού (STAWAVE-2)

Η μέθοδος αυτή μελετά την πρόσθετη αντίσταση λόγω κυματισμών λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές κινήσεις που προκαλούνται στο πλοίο κατά την διάρκεια της λειτουργίας του, προσεγγίζοντας την συνάρτηση μεταφοράς της μέσης πρόσθετης αντίστασης σε συμμετρικούς μετωπικούς κυματισμούς με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Η μέθοδος αυτή διακρίνει την μέση πρόσθετη αντίσταση σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη εξ'αυτών αναφέρεται στην ανάκλαση των κυμάτων στην πλώρη του πλοίου (R_{AWRL}) και η δεύτερη στην επαγόμενη αντίσταση από την κίνηση του κυματισμού (R_{AWML}). Η σχέση υπολογισμού της συνάρτησης μεταφοράς δίνεται παρακάτω, ενώ στην συνέχεια παρουσιάζεται και το διάγραμμα αυτής στο οποίο το οριζόντιο κομμάτι της καμπύλης αποτελεί την αντίσταση λόγω ανάκλασης ενώ το υπόλοιπο τμήμα από την αντίσταση κίνησης του κυματισμού.

$$R_{wave} = R_{AWRL} + R_{AWML} \quad (3.26)$$

Για τον υπολογισμό του πρώτου όρου εφαρμόζονται οι σχέσεις

$$R_{AWRL} = \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot \zeta_A^2 \cdot B \cdot \alpha_1(\omega) \quad (3.27)$$

$$\alpha_1(\omega) = \frac{\pi^2 \cdot I_1^2 \cdot (1.5 \cdot k \cdot T_M)}{\pi^2 \cdot I_1^2 \cdot (1.5 \cdot k \cdot T_M) + K_1^2 \cdot (1.5 \cdot k \cdot T_M)} \cdot f_1 \quad (3.28)$$

$$f_1 = 0.692 \cdot \left(\frac{V_S}{\sqrt{T_M \cdot g}} \right)^{0.769} + 1.81 \cdot C_B \quad (3.29)$$

Και για την εύρεση της συνολικής αντίστασης ο δεύτερος όρος προκύπτει από τις σχέσεις

$$R_{AWML} = \frac{4 \cdot \rho_s \cdot g \cdot \zeta_A^2 \cdot B^2}{L_{PP} \cdot \bar{r}_{aw}(\omega)} \quad (3.30)$$

$$\bar{r}_{aw}(\omega) = \bar{\omega}^{b_1} \cdot \exp \left[\frac{b_1}{d_1} \cdot (1 - \bar{\omega}^{b_1}) \right] \cdot a_1 \cdot Fr^{1.50} \cdot \exp(-3.50 \cdot Fr) \quad (3.31)$$

$$\bar{\omega} = \frac{\sqrt{\frac{L_{PP}}{g}} \cdot \sqrt[3]{k_{yy}}}{1.17 \cdot Fr^{-0.143}} \cdot \omega \quad (3.32)$$

$$\alpha_1 = 60.3 \cdot C_B^{1.34} \quad (3.33)$$

$$b_1 = \begin{cases} 11.0 & \bar{\omega} < 1 \\ -8.50 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (3.34)$$

$$d_1 = \begin{cases} 14.0 & \bar{\omega} < 1 \\ -566 \cdot \left(\frac{L_{PP}}{B} \right)^{-2.66} & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (3.35)$$

Όπου:

ρ_s : η πυκνότητα του νερού στην πραγματική θερμοκρασία και περιεκτικότητα σε αλάτι [$\frac{kg}{m^3}$]

L_{pp} : το ολικό μήκος του πλοίου [m]

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας [$\frac{m}{s^2}$]

ζ_A : το πλάτος του κύματος [m]

B : το πλάτος του πλοίου [m]

I_1 : τροποποιημένη συνάρτηση Bessel πρώτης τάξης με όρισμα το 1

K_1 : τροποποιημένη συνάρτηση Bessel δεύτερης τάξης με όρισμα το 1

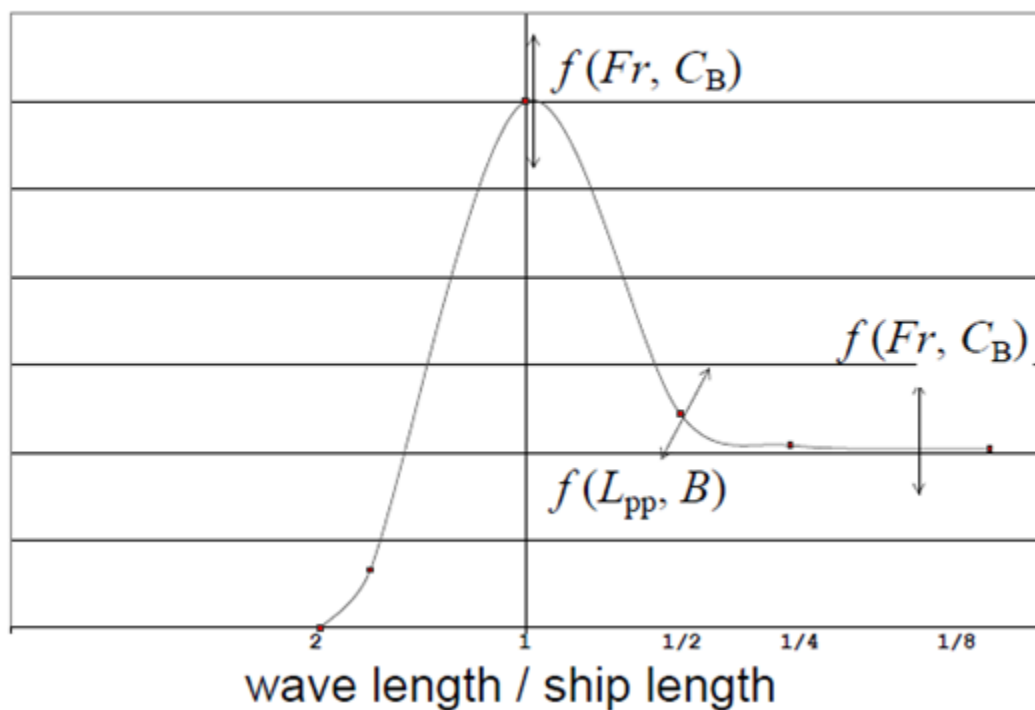
T_M : το βύθισμα στο μέσο του πλοίου [m]

C_B : ο συντελεστής εκτοπίσματος του πλοίου

k_{yy} : αδιάστατος συντελεστής της ακτίνας περιστροφής στην εγκάρσια κατεύθυνση

ω : γωνιακή συχνότητα κυματισμού

R_{wave}



Εικόνα 3.5. Γραφική απεικόνιση πρόσθετης αντίστασης κυματισμού Stawave 2 (ITTC 2017).

Αντίστοιχα με την πρώτη μέθοδο και αυτή πρέπει να ακολουθεί κάποιους περιορισμούς που παρουσιάζονται παρακάτω:

- $50\text{m} < L_{pp} < 400\text{m}$,
- $4.0 < \frac{L_{PP}}{B} < 9.0$,
- $2.2 < \frac{B}{T_M} < 9.0$,
- $0.10 < Fr < 0.30$,
- $0.39 < C_B < 0.90$,
- Κατεύθυνση κυματισμών μεταξύ 0 και ± 45 μοίρες από την πλώρη.

Επιπλέον η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για την μέση πρόσθετη αντίσταση σε τυχαίους κυματισμούς χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$R_{AWL} = 2 \int_0^{\infty} \frac{R_{wave}(\omega; V_S)}{\zeta_A^2} S_{\eta}(\omega) d\omega \quad (3.36)$$

Όπου για το κυματικό φάσμα $S_{\eta}(\omega)$ έχει χρησιμοποιηθεί αυτό του BRETSCHNEIDER (ABS 2016) το οποίο περιγράφεται από την σχέση (3.37) και χρησιμοποιείται για ανοιχτές θάλασσες με συνθήκες κυματισμού.

$$S_{\eta}(\omega) = \left(\frac{1.25}{4}\right) \cdot \frac{\omega_m^4}{\omega^5} \cdot H_S^2 \cdot e^{-5\left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^4} \quad (3.37)$$

Με το ω_m να αποτελεί την γωνιακή συχνότητα που αντιστοιχεί στην μέγιστη ενέργεια του κυματικού φάσματος (modal frequency) και η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$\omega_m = 0.4 \cdot \sqrt{\frac{g}{H_S}} \quad (3.38)$$

3.3 Υπολογισμός Πρόσθετης Ισχύος

Οι πρόσθετες αντιστάσεις του ανέμου και του κυματισμού που υπολογίστηκαν αφαιρούνται από την μετρημένη ισχύ που φτάνει στο πλοίο αφού όμως πρώτα μετατραπούν από αντιστάσεις σε μέγεθος ισχύς μέσω της σχέσης 3.40. Έτσι υπολογίζεται η συνολική διορθωμένη ισχύς με την παρακάτω σχέση.

$$P_{D,corr} = P_D - \Delta P \quad (3.39)$$

Όπου:

ΔP : η διόρθωση της ισχύος λόγω της επίδρασης των πρόσθετων αντιστάσεων η οποία δίνεται από την σχέση

$$\Delta P = \frac{\Delta R \cdot V_S}{\eta_{D0}} + P_D \cdot \left(1 - \frac{\eta_{DM}}{\eta_{D0}}\right) \quad (3.40)$$

Όπου:

η_{DM} : ο συντελεστής απόδοσης πρόωσης στην κατάσταση λειτουργίας,

η_{D0} : ο συντελεστής απόδοσης πρόωσης σε ήρεμες συνθήκες.

Η συνολική πρόσθετη αντίσταση ΔR που εισέρχεται στην σχέση 3.39 διαφέρει ανάλογα την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται. Για αυτό τον λόγο στην περίπτωση της μεθόδου του ISO η μόνη πρόσθετη αντίσταση που υπάρχει είναι αυτή του ανέμου, ενώ για την περίπτωση της μεθόδου της ITTC αποτελείται από την πρόσθετη αντίσταση του ανέμου και την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού.

3.4 Κανονικοποίηση Ισχύος

Ξεκινώντας την διαδικασία για την επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητο να γίνει κανονικοποίηση στην ισχύ τόσο για την αρχική ισχύ όσο και για την τελική που προκύπτει έπειτα από την εισαγωγή των πρόσθετων αντιστάσεων του ανέμου και του κυματισμού. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη προκειμένου τα δεδομένα να αναφέρονται όλα σε μια κοινή κατάσταση. Για τον λόγο αυτό γίνεται αναγωγή των δεδομένων στα βυθίσματα που αφορούν τις καταστάσεις του ερματισμού και της φορτωμένης κατάστασης του πλοίου.

Έτσι με την χρήση της παρακάτω σχέσης επιτυγχάνεται η κανονικοποίηση, αφού πρώτα ελεγχθεί εάν τα δεδομένα πληρούν τις προϋποθέσεις που αφορούν την απόκλιση στο βύθισμα και την διαγωγή από την τιμή αναφοράς.

$$P_{καν} = P_{υπολ} \cdot \left(\frac{T_{πραγματικό}}{T_{αναφοράς}}\right)^{2/3} \quad (3.41)$$

Προϋποθέσεις:

- $\left| \frac{T_{αναφοράς} - T_{πραγματικό}}{T_{αναφοράς}} \cdot 100 \right| < 5$
- $\left| \text{Διαγωγή}_{αναφοράς} \right| < 0.2 \cdot \frac{L_{BP}}{100} + \text{Διαγωγή}_{πραγματική}$

4 Εφαρμογή Μεθοδολογιών

Οι προηγούμενες μεθοδολογίες που έχουν αναφερθεί θα εφαρμοστούν και στην πράξη σε κάποιο επιλεγμένο πλοίο προκειμένου να γίνει έλεγχος των αποτελεσμάτων και σύγκριση αυτών. Η επιλογή του πλοίου είναι σημαντικό να γίνεται με βάση τις πληροφορίες που παρέχει κατά τα στάδια λειτουργίας του καθώς και σύμφωνα με άλλα δεδομένα όπως σχέδια του πλοίου και αποτελέσματα από πειράματα. Η παροχή πληροφοριών κατά την πλεύση του πλοίου είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού μέσω αυτών δίνεται η δυνατότητα να εκτιμηθεί η κατάσταση πλεύσης και της θάλασσας στην κάθε χρονική στιγμή που όπως παρουσιάστηκε στις μεθοδολογίες και τις πρόσθετες αντιστάσεις διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Επιπλέον από την ύπαρξη αποτελεσμάτων από τις θαλάσσιες δοκιμές αλλά και από πρότυπα μοντέλα βοηθούν σημαντικά στην σύγκριση των αποτελεσμάτων.

4.1 Υπό Μελέτη Πλοίο και Συλλογή Δεδομένων

Το πλοίο το οποίο έχει επιλεγεί είναι ένα δεξαμενόπλοιο με χωρητικότητα 165.000 τόνους. Για το πλοίο αυτό διατίθενται τα απαραίτητα δεδομένα που αναφέρθηκαν προηγουμένως και έτσι κρίνεται κατάλληλο για την εφαρμογή των μεθοδολογιών. Τα βασικά χαρακτηριστικά του αναφέρονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου.

Ολικό μήκος L_{OA} (m)	274.19
Μήκος μεταξύ καθέτων L_{BP} (m)	264
Πλάτος B (m)	50,0
Κοίλο (m)	23.1
Βύθισμα Σχεδίασης T_d (m)	16
Συντελεστής γάστρας c_b	0.8211
MCR (kW)	16794

Η συλλογή των δεδομένων αποτελεί από τα σημαντικότερα βήματα της διαδικασίας της αξιολόγησης της αποδοτικότητας του πλοίου, αφού με βάση αυτά θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί η ανάλυση όλων των συντελεστών και μεταβλητών του πλοίου, προκειμένου μετέπειτα να καταστεί δυνατός ο υπολογισμός των δεικτών, ώστε να διεξαχθεί σωστά η διαδικασία της αξιολόγησης. Λόγω της μεγάλης σπουδαιότητας τους, τα δεδομένα πρέπει να λαμβάνονται πολύ προσεκτικά καθώς και με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια για να μην εξάγονται τελικά λανθασμένα αποτελέσματα. Έτσι οι αισθητήρες και τα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιούνται για αυτό τον σκοπό αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα ο οποίος δίνεται από το πρότυπο του ISO 19030.

Πίνακας 4.2. Συσκευές μέτρησης δεδομένων σύμφωνα με το ISO 19030 (ISO 2016).

Παράμετρος	Αποδεκτή μετρητική συσκευή	Μονάδα μέτρησης
Σχετική ταχύτητα ανέμου και κατεύθυνση ανέμου	Ανεμόμετρο του πλοίου, με ελάχιστη ακρίβεια $\pm 1 \frac{m}{s}$, $\pm 5^\circ$	$[\frac{m}{s}], [^\circ]$
Ταχύτητα εδάφους	DGPS	[knots]
Κατεύθυνση του πλοίου	Γυροσκοπική πυξίδα, πυξίδα- DGPS	$[^\circ]$
Ταχύτητα περιστροφής του άξονα	Οπτικός αισθητήρας, Στροφόμετρο, με ελάχιστη ακρίβεια $\pm 0.5\%$	[rpm]
Βάθος νερού	Βαθόμετρο με ελάχιστη ακρίβεια $\pm 0.5m$ μέχρι τα $20m$ $\pm 5m$ μέχρι τα $200m$ $\pm 2.5\%$ απο το υπολογισμένο βάθος	[m]
Γωνία εκτροπής πηδαλίου	Δείκτης γωνίας πηδαλίου, με ελάχιστη ακρίβεια $\pm 1^\circ$	$[^\circ]$
Θερμοκρασία νερού	Θερμόμετρο	$[^\circ C]$
Θερμοκρασία αέρα	Θερμόμετρο	$[^\circ C]$
Πίεση αέρα	Βαρόμετρο	[Pa]

Επιπλέον τα μετρητικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται είναι αναγκαίο να έχουν υποστεί τις προδιαγραφόμενες και απαραίτητες εργασίες συντήρησης, να έχουν ελεγχθεί ως προς την ακρίβειά τους και να έχουν βαθμονομηθεί καταλλήλως. Τέλος, πρέπει να ρυθμιστεί η συχνότητα με την οποία θα γίνεται η συλλογή των δεδομένων από τα μετρητικά μηχανήματα, καθώς και να εξασφαλίζεται ότι η συχνότητα αυτή θα παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια λειτουργίας του πλοίου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι του υπό μελέτη πλοίου που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και ο ρυθμός συλλογής δεδομένων τους.

Πίνακας 4.3. Παράμετροι υπό μελέτη πλοίου και συχνότητα δειγματοληψίας.

Παράμετρος	Συχνότητα δειγματοληψίας
Σχετική κατεύθυνση ανέμου	5 Λεπτά
Σχετική ταχύτητα ανέμου	5 Λεπτά
Μέσο Βύθισμα	5 Λεπτά
Διαγωγή	5 Λεπτά
Κατεύθυνση πλοίου	5 Λεπτά
Σχετική Ταχύτητα Πλοίου - Ρευστού	5 Λεπτά
Σχετική Ταχύτητα Πλοίου – Εδάφους	5 Λεπτά
Ισχύς	5 Λεπτά

4.1.1 Πρόσθετα Δεδομένα

Τα πρόσθετα δεδομένα αφορούν κυρίως μεταβλητές οι οποίες παραμένουν σταθερές σε όλη την διάρκεια επεξεργασίας των δεδομένων και σχετίζονται είτε με γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου είτε με περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο ρόλος τους είναι σημαντικός αφού παρεμβαίνουν σε κάθε χρονική στιγμή στην διαδικασία της ανάλυσης και συμβάλλουν στην αποτύπωση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 4.4. Πίνακας πρόσθετων δεδομένων για την ανάλυση δεδομένων.

Ύψος του ανεμόμετρου στην κατάσταση σχεδίασης (βύθισμα σχεδίασης) $Z_{a,ref}$ (m)	50.5
Ύψος αναφοράς των δοκιμών για τον υπολογισμό του συντελεστή αντίστασης ανέμου $Z_{ref,ref}$ (m)	10
Εμβαδό εγκάρσιας προβεβλημένης επιφάνειας στην κατάσταση σχεδίασης A_{ref} (m^2)	802
Πίεση αέρα p (Pa)	101325
Θερμοκρασία αέρα T_{air}	15
Πυκνότητα αέρα ρ_a (kg/m^3)	1.225
Συντελεστής απόδοσης πρόωσης σε ήρεμη κατάσταση η_{D0}	0.7
Συντελεστής απόδοσης πρόωσης στην παρούσα κατάσταση η_{DM}	0.7

Δεδομένου ότι η εφαρμογή των μεθοδολογιών που μελετώνται αναφέρονται και σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου τα οποία δεν παρέχονται άμεσα από τους πίνακες δεδομένων αλλά απαιτείται να πραγματοποιηθεί μια προκαταρκτική ανάλυση στα υπόλοιπα δεδομένα του πλοίου όπως τα σχέδια του προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία της τελικής ανάλυσης των δεδομένων.

Επιπλέον αναφέρεται πως για την μέθοδο Stawave 1, το μήκος από την πλώρη έως το σημείο που αντιστοιχεί στο 95% του μέγιστου πλάτους στην ίσαλο πλεύσης του πλοίου (L_{BWL}) σύμφωνα με το σχέδιο γενικής διάταξης του πλοίου ισούται με 34.10 m.

4.1.2 Υπολογισμός Μεταβλητών Μεθόδου Fujiwara

Ξεκινώντας λοιπόν με την μέθοδο Fujiwara με βάσει την οποία μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές αντίστασης του ανέμου παρατηρείται ότι χρειάζεται να υπολογιστούν μεταβλητές που σχετίζονται κατά κύριο λόγο με γεωμετρικά στοιχεία και ειδικότερα με επιφάνειες και κέντρα επιφανειών τα οποία προκύπτουν από τα σχέδια του υπό μελέτη πλοίου. Έτσι προκειμένου να μπορέσουν να μετρηθούν αυτές οι επιφάνειες έχει χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα Autocad, σύμφωνα με το οποίο έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις στα σχέδια του πλοίου.

Η πυκνότητα του νερού ρ_s που έχει χρησιμοποιηθεί σε όλες τις πράξεις είναι $1025 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, και η επιτάχυνση της βαρύτητας g ίση με $9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$.

Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια των υπερκατασκευών (A_{OD}) ισοδυναμεί με $420.63 m^2$.

Η επιφάνεια της μέγιστης εγκάρσιας τομής που εκτίθεται στον άνεμο (A_{XV}) για το βύθισμα σχεδίασης (16m) δίνεται στα δεδομένα του πλοίου και ισούται με $802 m^2$, ενώ για οποιοδήποτε άλλο βύθισμα υπολογίζεται ως εξής $A_{XV} = 802 + \Delta T \cdot 50$, όπου ΔT η απόκλιση από το βύθισμα σχεδίασης και 50 το μέγιστο πλάτος του πλοίου.

Η πλευρική προβεβλημένη επιφάνεια πάνω από την ίσαλο πλευσης (A_{YV}) υπολογίζεται ανάλογα με την κατάσταση φόρτωσης και σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση $A_{YV} = A_{OD} + (D - T) \cdot L_{WL}$, όπου το μήκος της ισάλου είναι 259m για την ερματισμένη κατάσταση και 268m για την πλήρως φορτωμένη κατάσταση, ενώ το A_{OD} είναι αυτό που υπολογίστηκε πιο πάνω.

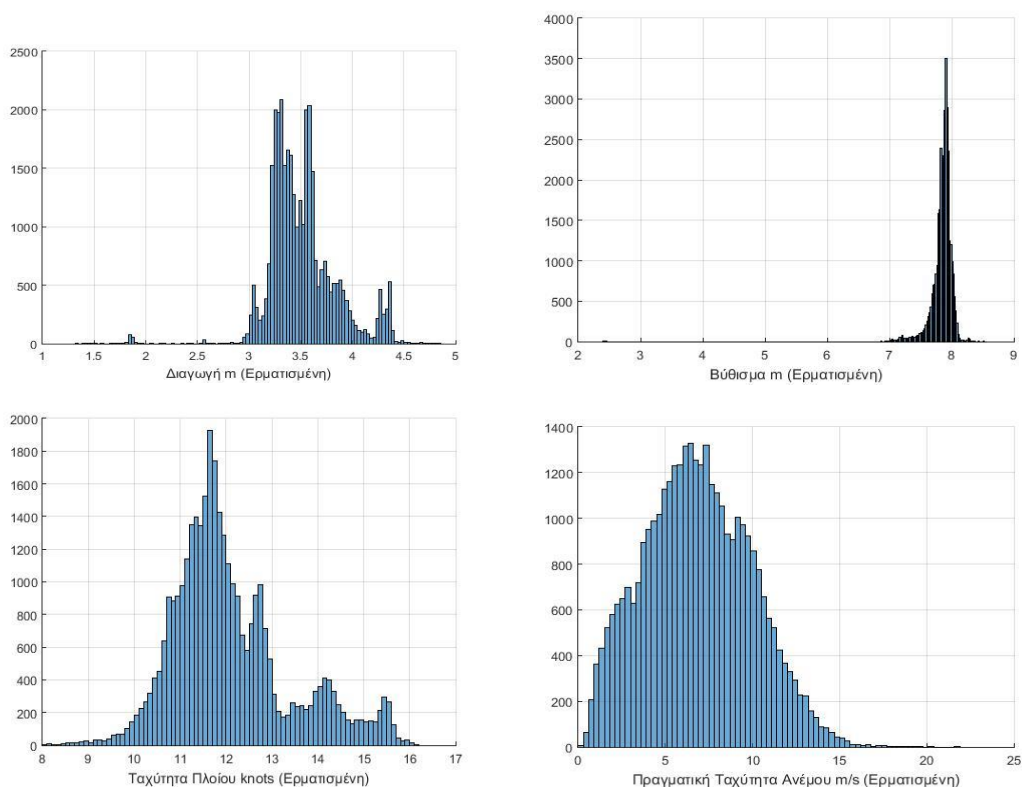
Η οριζόντια απόσταση από την μέση τομή μέχρι το κέντρο της επιφάνειας A_{YV} (C_{MC}) και η κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο πλευσης μέχρι το κέντρο της επιφάνειας A_{YV} (h_C) υπολογίζονται για τις δύο καταστάσεις από το σχέδιο του πλοίου και προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές:

Πίνακας 4.5. Κατακόρυφη και οριζόντια απόσταση του κέντρου της A_{YV} .

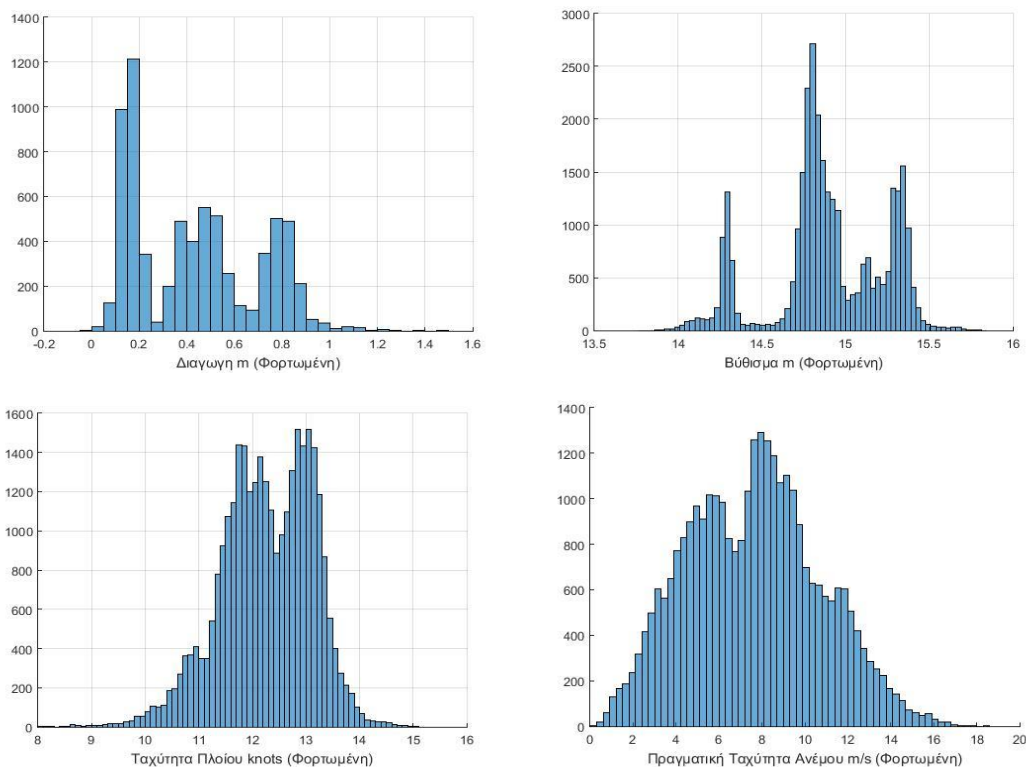
	Ερματισμένη κατάσταση	Φορτωμένη κατάσταση
C_{MC} [m]	-8.205	-16.175
h_C [m]	9.72	6.57

4.2 Στατιστική Ανάλυση Βασικών Παραμέτρων

Η στατιστική ανάλυση περιλαμβάνει την παραγωγή ιστογραμμάτων συχνότητας μιας σειράς βασικών παραμέτρων του πλοίου στην ερματισμένη και στην φορτωμένη κατάσταση. Η χρησιμότητα αυτών έγκειται στο γεγονός ότι με την παρουσίαση αυτή μπορούν να διακριθούν οι μέσες καταστάσεις των παραμέτρων καθώς και οι ακραίες τιμές αυτών και εν συνεχεία οι αναμενόμενες τελικές τιμές της ανάλυσης. Για την παραγωγή των ακόλουθων αποτελεσμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί σημεία δεδομένων ανα πέντε λεπτά τα οποία έχουν προκύψει από τον μέσο όρο πυκνότερων δειγμάτων στο διάστημα αυτό. Πιο συγκεκριμένα, για το υπό μελέτη πλοίο έχουν ληφθεί δεδομένα που φαίνονται στον Πίνακα 4.3. καθώς και ο ρυθμός δειγματοληψίας τους. Το σύνολο των σημείων δεδομένων ανέρχεται στα 85224, τα οποία αντιστοιχούν σε χρονικό διάστημα 10 μηνών από 15/9/2019 έως 29/7/2020 με συχνότητα συλλογής δεδομένων 5 λεπτά. Στις εικόνες 1 και 2 φαίνονται οι τιμές που διέπουν τις καταστάσεις πλεύσης του πλοίου (ερμαρισμένη και φορτωμένη κατάσταση) όσον αφορά την ταχύτητα, την διαγωγή, το βύθισμα καθώς και την ταχύτητα του ανέμου. Επιπλέον, η επεξεργασία των σημείων πραγματοποιήθηκε από τους κώδικες του MATLAB οι οποίοι παρατίθενται στο αντίστοιχο παράρτημα.



Εικόνα 4.1. Διαγράμματα τιμών που αντιστοιχούν στις τιμές που συναντώνται από τα δεδομένα του πλοίου για διαγωγή, μέσο βύθισμα, σχετική ταχύτητα πλοίου - ρευστού και υπολογισμένη πραγματική ταχύτητα ανέμου στην ερματισμένη κατάσταση.



Εικόνα 4.2. Διαγράμματα τιμών που αντιστοιχούν στις τιμές που συναντώνται από τα δεδομένα του πλοίου για διαγωγή, μέσο βύθισμα, σχετική ταχύτητα πλοίου - ρευστού και υπολογισμένη πραγματική ταχύτητα ανέμου στην φορτωμένη κατάσταση.

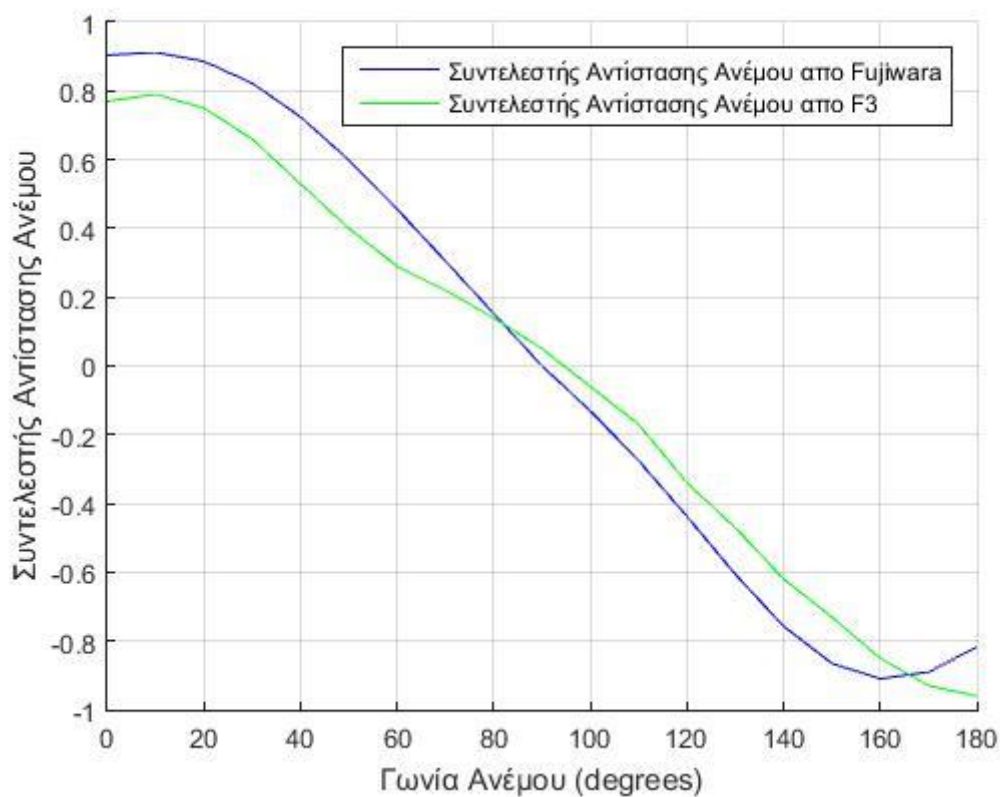
4.3 Σύγκριση Συντελεστών Αντίστασης Ανέμου (Μέθοδος Fujiwara - Μέθοδος F.3 ITTC)

Σε αυτό το σημείο θα συγκριθούν οι συντελεστές αντίστασης ανέμου που προκύπτουν από την μέθοδο του Fujiwara καθώς και από τους συντελεστές που αντιστοιχούν στο εδάφιο F.3 της ITTC. Οι συντελεστές αντίστασης της ITTC έχουν επιλεγεί με βάση το διάγραμμα του δεξαμενόπλοιου χωρητικότητας 280.000 τόνων με συνηθισμένο βολβό. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των συντελεστών αντίστασης ανέμου που προκύπτουν από την κάθε μία περίπτωση σε συγκεντρωτικά διαγράμματα, και για κάθε μία κατάσταση πλεύσης. Έτσι προκύπτουν οι εικόνες 4.3 και 4.4, στις οποίες αποτυπώνονται οι παραπάνω συντελεστές αντίστασης ανέμου για κατευθύνσεις από 0 έως 180 μοίρες.

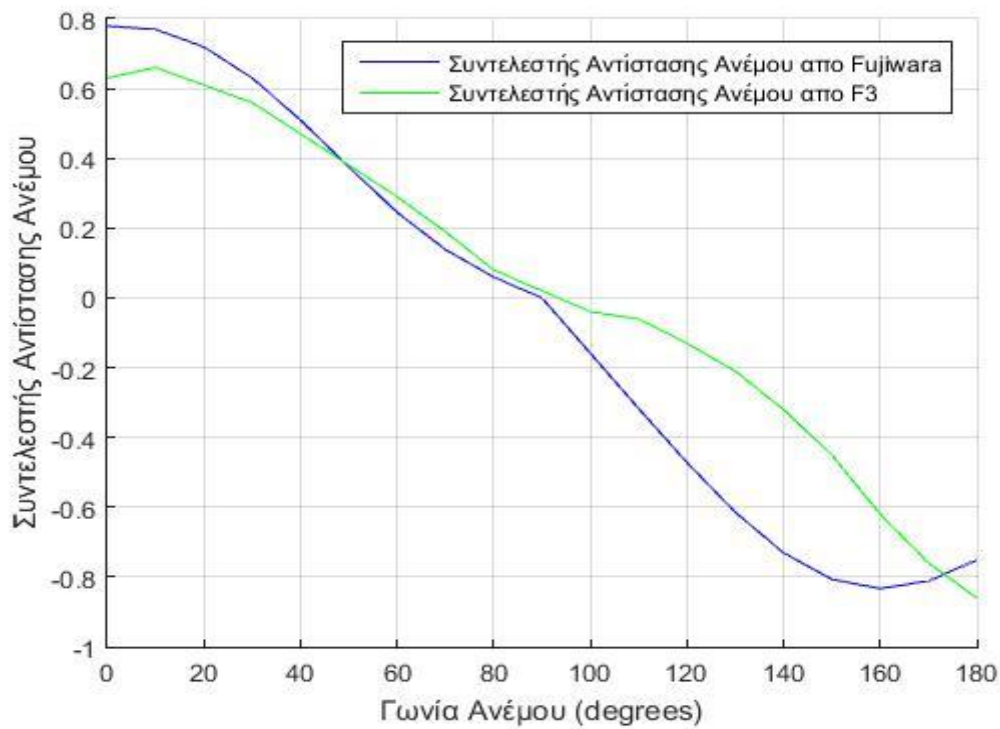
Στην συνέχεια πραγματοποιείται ένας έλεγχος σχετικά με τις τιμές της πρόσθετης αντίστασης που προκύπτει από τον άνεμο, για μετωπικό άνεμο (0 μοίρες) και για διάφορες ταχύτητες ανέμου, για αυτές τις κατηγορίες συντελεστών αντίστασης ανέμου, τα οποία διακρίνονται στις εικόνες 4.5 και 4.6 .

Από τα παρακάτω διαγράμματα προκύπτει ότι οι συντελεστές αντίστασης ανέμου από την μέθοδο του Fujiwara κρίνονται καταλληλότεροι αφού ακολουθούν μια πιο ομαλή πορεία ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης του ανέμου, ενώ το γεγονός ότι περιλαμβάνει περαιτέρω γεωμετρικά στοιχεία του πλοίου την κάνει πιο αξιόπιστη. Συνεπώς η ανάλυση που θα ακολουθήσει θα περιλαμβάνει στοιχεία μόνο από την μέθοδο του Fujiwara για τον υπολογισμό της αντίστασης ανέμου.

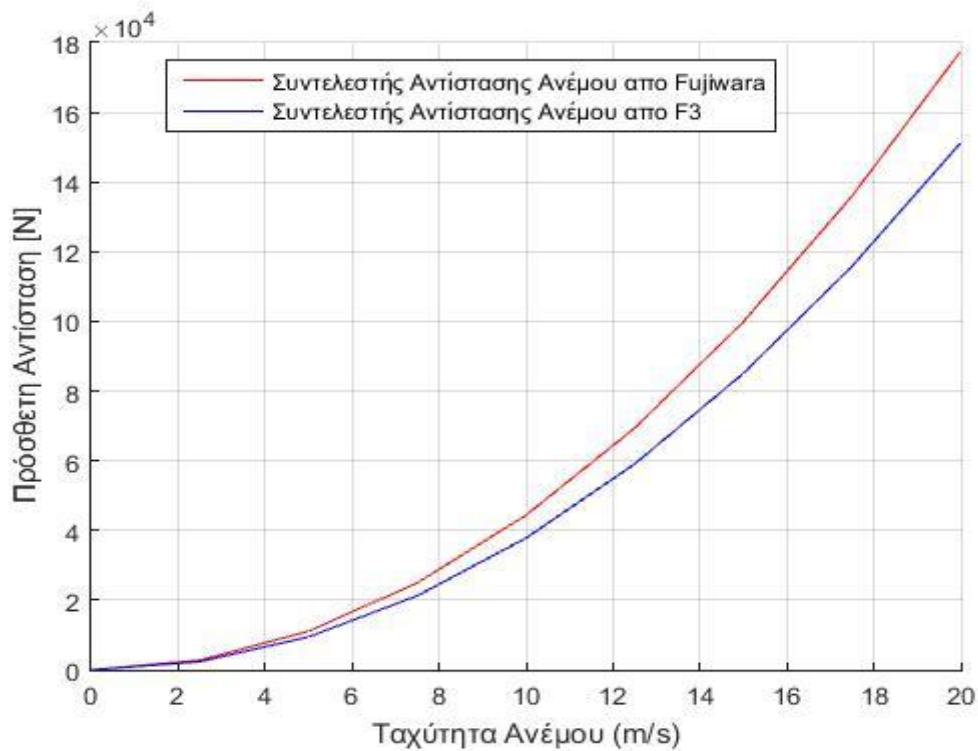
Στο παράρτημα με τους πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αντίστασης των μεθοδολογιών αυτών για κάθε 10 μοίρες.



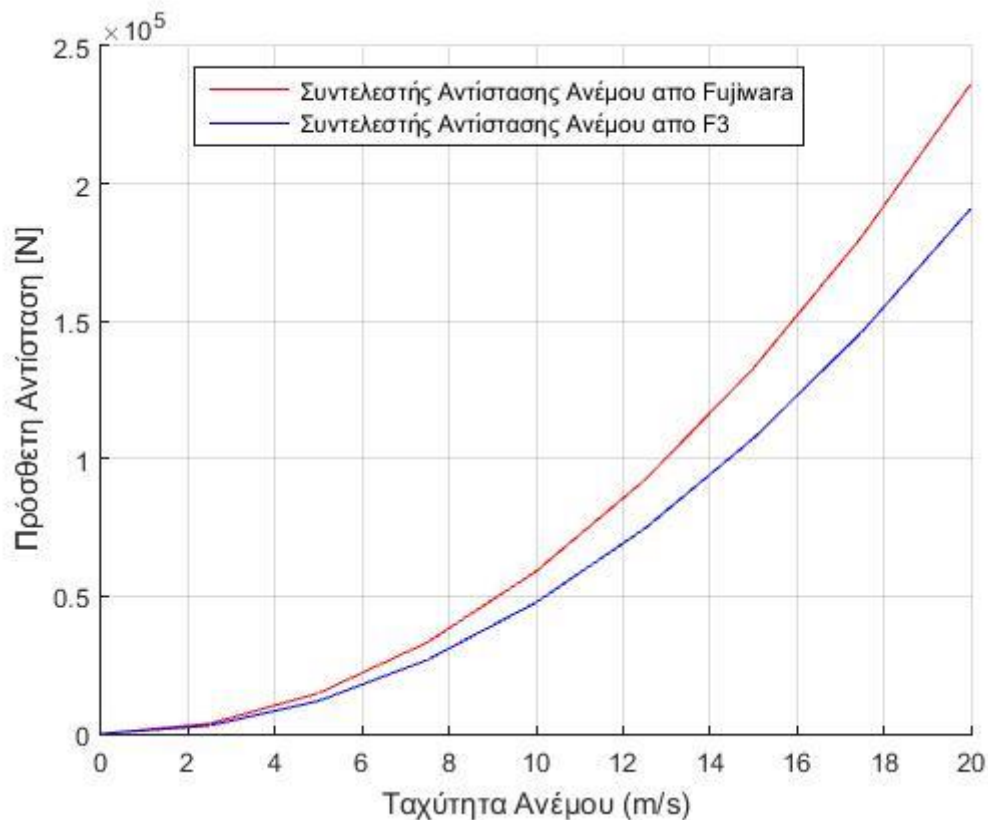
Εικόνα 4.3. Σύγκριση όλων των συντελεστών αντίστασης ανέμου για την φορτωμένη κατάσταση.



Εικόνα 4.4. Σύγκριση όλων των συντελεστών αντίστασης ανέμου για την ερματισμένη κατάσταση.



Εικόνα 4.5. Πρόσθετη αντίσταση ανέμου ανάλογα με τους συντελεστές αντίστασης ανέμου για μετωπικό άνεμο στην φορτωμένη κατάσταση.



Εικόνα 4.6. Πρόσθετη αντίσταση ανέμου ανάλογα με τους συντελεστές αντίστασης ανέμου για μετωπικό άνεμο στην ερματισμένη κατάσταση.

4.4 Σημαντικό Ύψος Κύματος

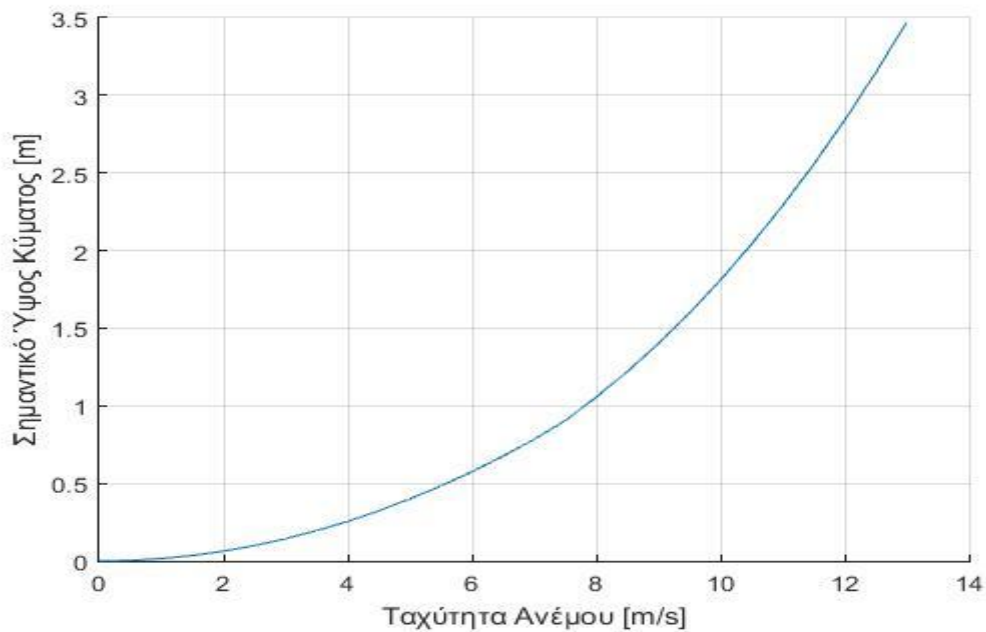
Για τον υπολογισμό του σημαντικού ύψους κύματος αλλά και την συνεισφορά που κατέχει ο άνεμος απαιτείται να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις προκειμένου να καταστεί δυνατός ο υπολογισμός των δύο σχέσεων της αντίστασης λόγω κυματισμού (Stawave 1 – Stawave 2) της ITTC. Έτσι σύμφωνα με το κυματικό μοντέλο του Hasselmann (Ge Chen pp.1850 2002) η σχέση που δίνει το σημαντικό ύψος κύματος συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για πλήρως ανεπτυγμένη θάλασσα είναι η εξής:

$$H_S = 0.01614 \cdot U^2 \quad 0 \leq U \leq 7.5 \frac{m}{s} \quad (4.1)$$

$$H_S = 0.01 \cdot U^2 + 0.0008134 \cdot U^3 \quad 7.5 < U \leq 50 \frac{m}{s} \quad (4.2)$$

Όπου U είναι η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς του πλοίου (10m) μετρημένη σε $\frac{m}{s}$, ενώ H_S είναι το σημαντικό ύψος κύματος σε m.

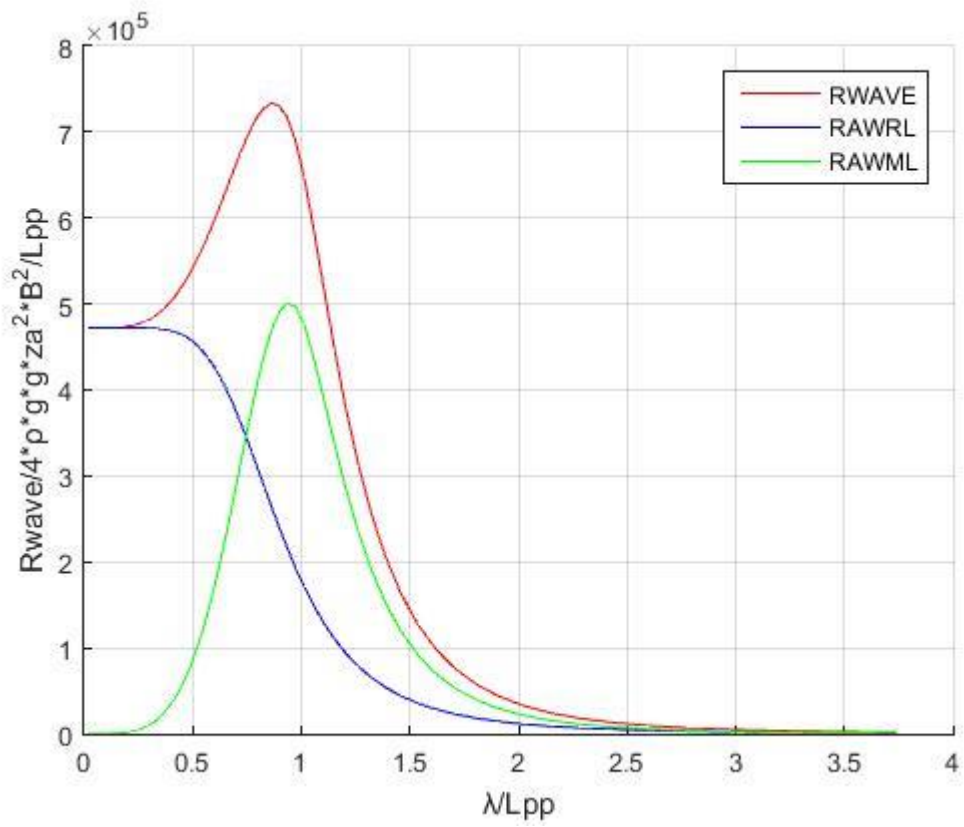
Για την καλύτερη κατανόηση των τιμών που αναμένονται παρουσιάζεται το ακόλουθο διάγραμμα που απεικονίζεται το σημαντικό ύψος κύματος σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου.



Εικόνα 4.7. Σημαντικό ύψος κύματος με ταχύτητα ανέμου.

4.5 Συνιστώσες Πρόσθετης Αντίστασης Κυματισμού

Η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού σύμφωνα με την μέθοδο stawave 2 αναλύεται σε 2 συνιστώσες. Τα αποτελέσματα των αδιαστατοποιημένων αντιστάσεων αυτών για το υπό μελέτη πλοίο παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι για μικρά μήκη κύματος κυριαρχεί η αντίσταση λόγω ανάκλασης (RAWRL), ενώ όσο μεγαλώνει το μήκος κύματος η αντίσταση αυτή μειώνεται και αυξάνεται η επαγόμενη αντίσταση (RAWML).



Εικόνα 4.8. Διάγραμμα αδιαστατοποιημένης πρόσθετης αντίστασης κυματισμού με την μέθοδο Stawave 2.

5 Αποτελέσματα Ανάλυσης

Αφού έχει γίνει ανάλυση των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και διερεύνηση των παραμέτρων που υπεισέρχονται σε αυτές, θα πραγματοποιηθεί σε αυτό το σημείο μια θεωρητική ανάλυση προκειμένου να διαπιστωθεί η αξιοπιστία των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται, δηλαδή αν δίνουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα που θα έπρεπε όσον αφορά το μέγεθος αυτών των τιμών καθώς βέβαια και των προσήμων τους. Στην ανάλυση αυτή θα παραχθούν διαγράμματα και που θα αφορούν τόσο τις πρόσθετες αντιστάσεις όσο και την πρόσθετη ισχύ. Η διαδικασία αυτή θα εκτελεστεί αρχικά σε θεωρητικό επίπεδο κρατώντας κάποιες μεταβλητές αυθαίρετα σταθερές και μερικές μεταβαλλόμενες στα όρια που ορίζονται από την στατιστική ανάλυση που έχει προηγηθεί. Στην συνέχεια θα παρατεθούν τα αναλυτικά αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων του πλοίου.

5.1 Πρόσθετη Ισχύς Λόγω Αντίστασης Ανέμου

Για την εύρεση της πρόσθετης ισχύος λόγω αντίστασης του ανέμου θα χρησιμοποιηθούν ταχύτητες πλεύσης πλοίου από 5 έως 15 κόμβους, με ανάλυση ανα 5 κόμβους, δίνοντας έμφαση στην ταχύτητα των 12 κόμβων η οποία αποτελεί την μέση ταχύτητα πλεύσης με βάση τα δεδομένα. Έχοντας επιλέξει και κρατήσει σταθερή αυτή την ταχύτητα θα γίνει η ανάλυση της αντίστασης του ανέμου για σχετικές ταχύτητες ανέμου στο ύψος αναφοράς (10 m) από 0 έως 20 $\left[\frac{m}{s}\right]$ με βήμα 2.5, και για σχετικές γωνίες πρόσπτωσης του ανέμου από 0 έως 180 [μοίρες] με βήμα 15. Επιπλέον, για κάθε ταχύτητα του πλοίου η διαδικασία θα πραγματοποιείται δύο φορές, μία για κάθε κατάσταση πλεύσης, δηλαδή μία για ερματισμένη και μία για πλήρως φορτωμένη. Για την εύρεση της πρόσθετης ισχύος έχουν χρησιμοποιηθεί συντελεστές αντίστασης ανέμου σύμφωνα με την μέθοδο του Fujiwara, ενώ τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως το ποσοστό απόκλισης της ισχύος με βάση την αναμενόμενη ισχύ που προκύπτει από την καμπύλη ισχύος - ταχύτητας του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα η απεικονιζόμενη σχέση είναι η παρακάτω:

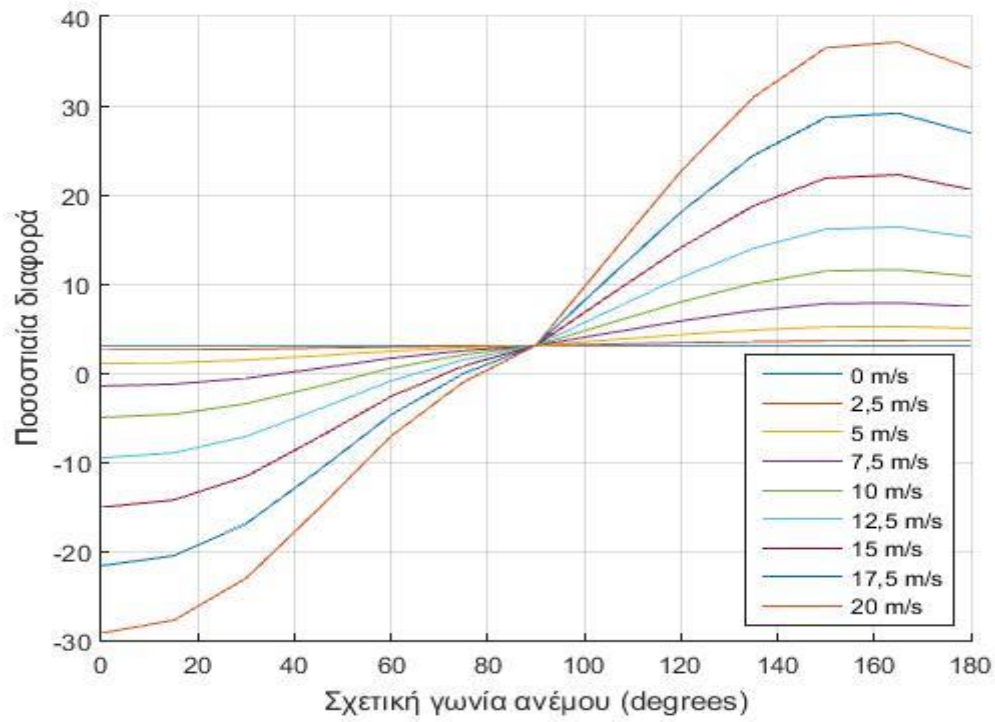
$$\frac{((P_{Ref} - DP_{Added}) - P_{Ref})}{P_{Ref}} * 100 \rightarrow \frac{-DP_{Added}}{P_{Ref}} * 100 \quad (4.3)$$

Όπου:

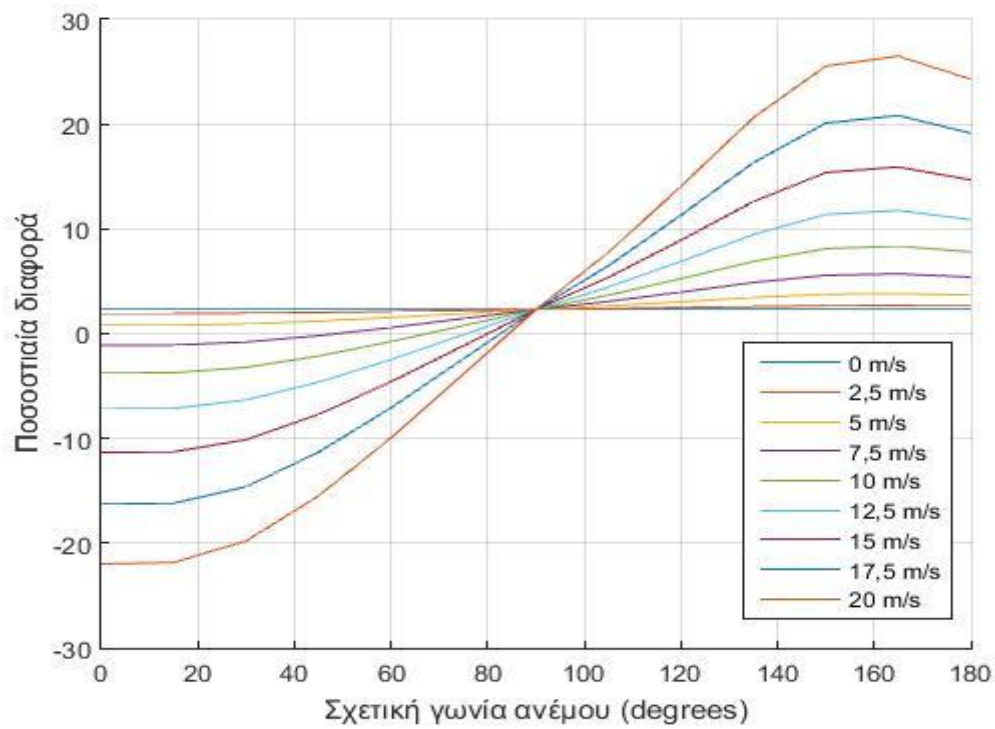
P_{Ref} : Η ισχύς σύμφωνα με την καμπύλη ισχύος - ταχύτητας του πλοίου,

DP_{Added} : Η πρόσθετη ισχύ λόγω ανέμου όπως προκύπτει από τις ενότητες 3.1. και 3.3.

Έτσι με χρήση του προγράμματος MATLAB 'windtheory.m' προκύπτουν οι εικόνες 5.1 και 5.2.



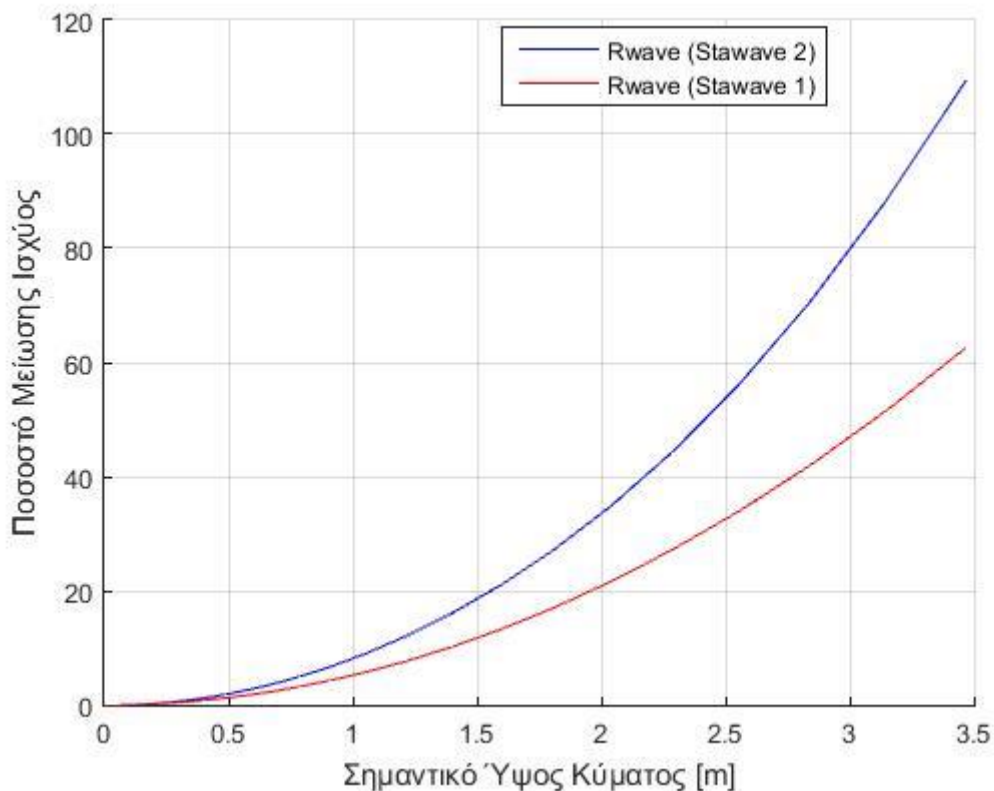
Εικόνα 5.1. Γραφική απεικόνιση της ποσοστιαίας διαφοράς της πρόσθετης ισχύς λόγω αντίστασης ανέμου με την γωνία πρόσπτωσης σε διάφορες ταχύτητες ανέμου και ερματισμένη κατάσταση.



Εικόνα 5.2. Γραφική απεικόνιση της ποσοστιαίας διαφοράς της πρόσθετης ισχύς λόγω αντίστασης ανέμου με την γωνία πρόσπτωσης σε διάφορες ταχύτητες ανέμου και φορτωμένη κατάσταση.

5.2 Πρόσθετη Ισχύς Λόγω Αντίστασης Κυματισμών

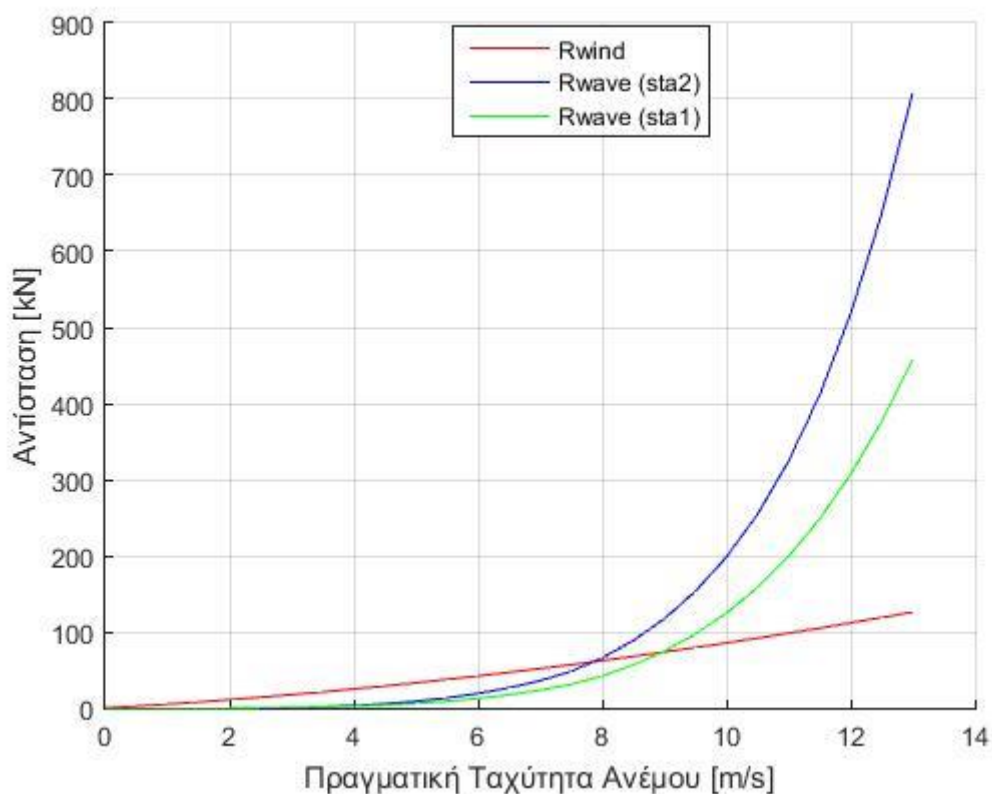
Ο υπολογισμός της πρόσθετης ισχύος επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τις μεθόδους Stawave 1 και Stawave 2 της ITTC. Για τον υπολογισμό των παρακάτω τιμών και διαγραμμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί τιμές για την πραγματική ταχύτητα του ανέμου από 0 έως 12.5 [$\frac{m}{s}$], ενώ αναφέρεται στην φορτωμένη κατάσταση του πλοίου με ταχύτητα πλοίου 12 κόμβους. Έτσι προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η επί τοις εκατό διαφορά της ισχύος του πλοίου που προκαλείται από την επίδραση των κυματισμών στην ταχύτητα των 12 κόμβων, συναρτήσει με το ύψος κύματος.



Εικόνα 5.3. Γραφική απεικόνιση της ποσοστιαίας μείωσης ισχύος λόγω αντίστασης κυματισμών (Stawave 1 και Stawave 2) συναρτήσει του σημαντικού ύψους κύματος.

5.3 Συνοπτική Παρουσίαση Αντιστάσεων

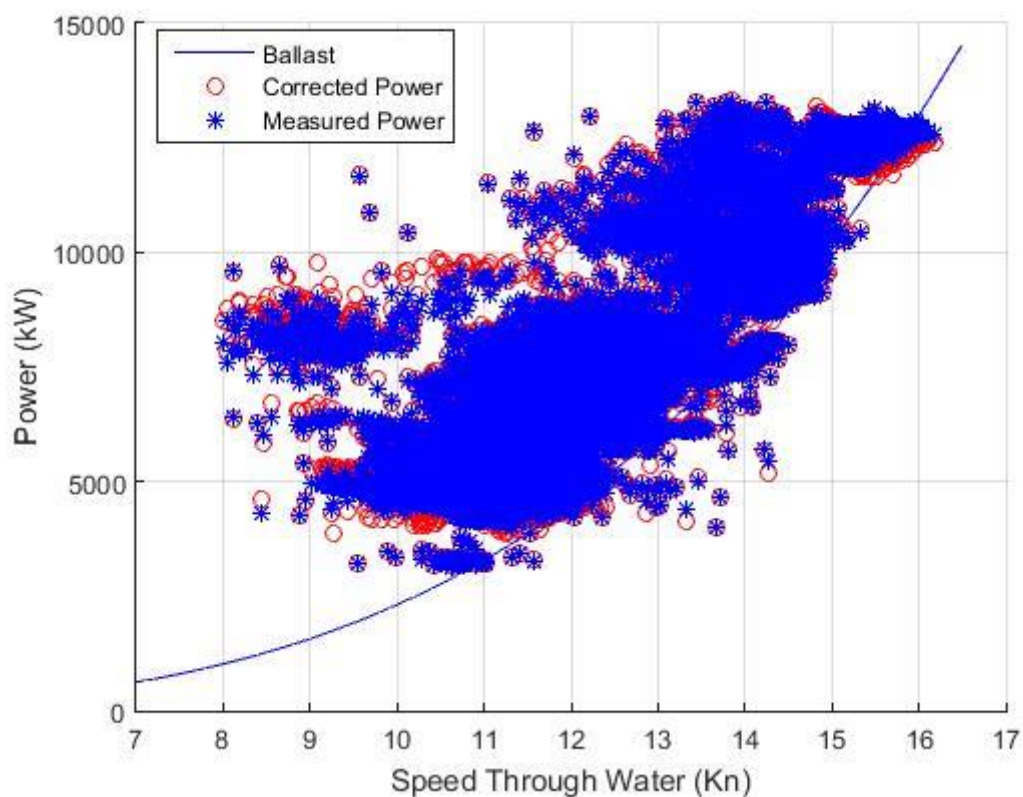
Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια σύγκριση των τιμών των αντιστάσεων που προέκυψαν από τις προηγούμενες παραγράφους έτσι ώστε να μπορούν να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν καθώς και να γίνει αντιληπτή η συνεισφορά της κάθε αντίστασης. Έτσι οι καμπύλες που φαίνονται στην εικόνα 5.4 αντιστοιχούν στις πρόσθετες αντιστάσεις από τον άνεμο και από τα κύματα, οι οποίες δίνουν αποτελέσματα αντίστασης σε Newton, ενώ στον οριζόντιο άξονα φαίνονται οι τιμές της πραγματικής ταχύτητας ανέμου. Επιπλέον για την αντίσταση ανέμου έχει ληφθεί ταχύτητα πλοίου ίση με 12 [Kn], μετωπικοί άνεμοι (σχετική κατεύθυνση ανέμου 0°), και $\cos(\psi_{wt} + \psi_0) = 1$.



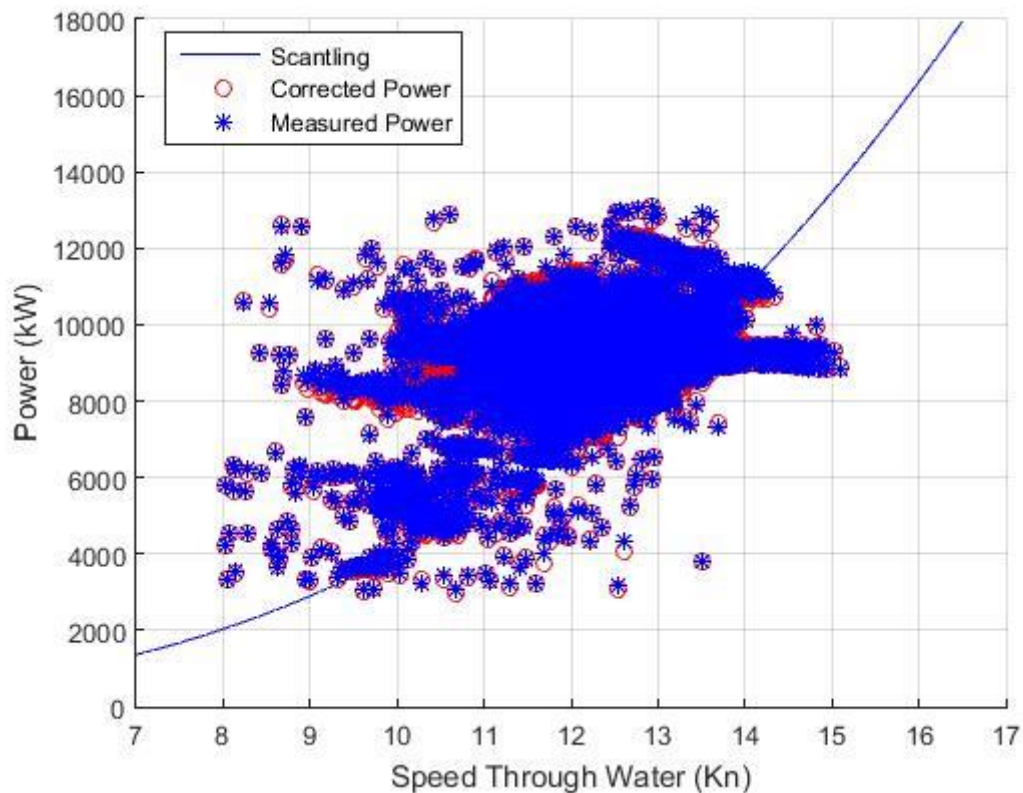
Εικόνα 5.4. Συγκριτική παρουσίαση των αντιστάσεων ανέμου και κυματισμού (Stawave 1 και Stawave 2) συναρτήσει της πραγματική ταχύτητας ανέμου.

5.4 Αποτελέσματα Προτύπου ISO 19030

Ξεκινώντας λοιπόν με το πρότυπο του ISO το οποίο περιλαμβάνει μόνο την πρόσθετη αντίσταση λόγω του ανέμου, θα παρουσιαστούν σε διαγράμματα ισχύος - ταχύτητας πλοίου τα σημεία που προκύπτουν μετά από την διόρθωση της ισχύος και την κανονικοποίηση, καθώς και τα κανονικοποιημένα αρχικά σημεία. Εξετάστηκαν οι δύο καταστάσεις πλεύσης του πλοίου και έτσι παρατίθενται τα παρακάτω διαγράμματα, στα οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κανονικοποιημένης αρχικής και διορθωμένης ισχύος σε σχέση με την ταχύτητα, για συντελεστές αντίστασης ανέμου από την μέθοδο του Fujiwara, για την ερματισμένη και φορτωμένη κατάσταση αντίστοιχα.



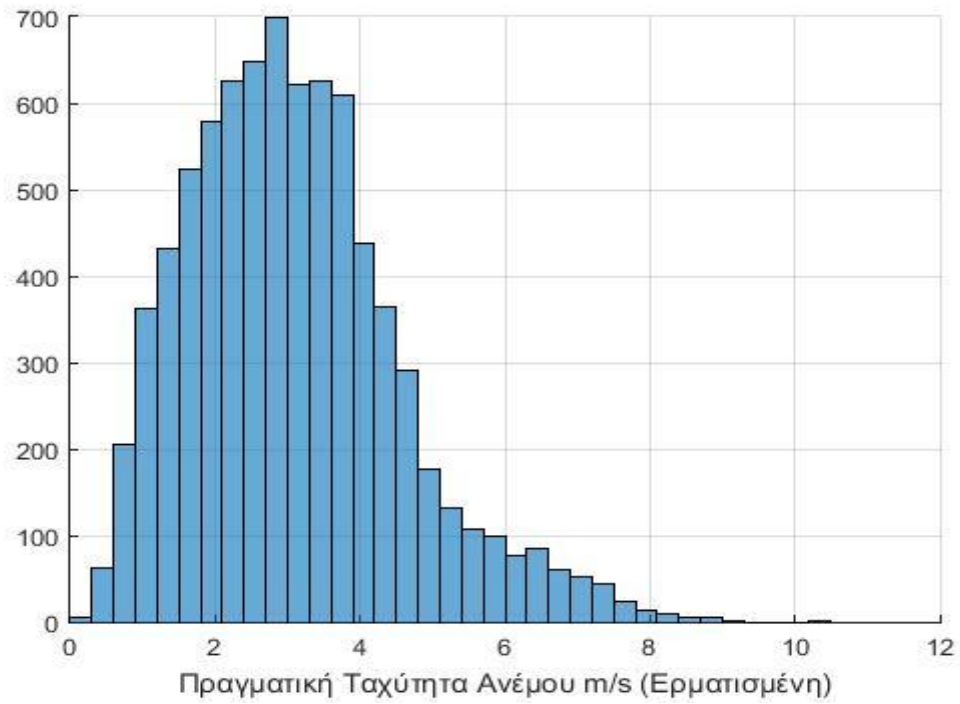
Εικόνα 5.5. Σύγκριση διορθωμένης ισχύος κατά ISO με μετρημένη ισχύ, με συντελεστές ανέμου συντελεστές αντίστασης ανέμου της μεθόδου Fujiwara, στην ερματισμένη κατάσταση.



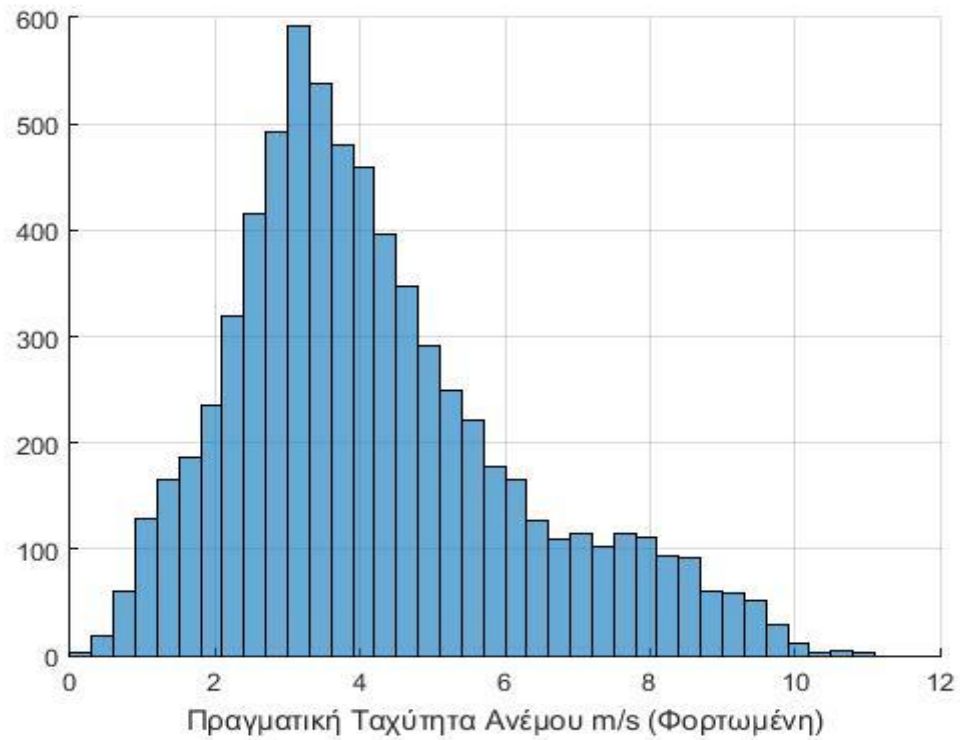
Εικόνα 5.6. Σύγκριση διορθωμένης ισχύος κατά ISO με μετρημένη ισχύ, με συντελεστές ανέμου συντελεστές αντίστασης ανέμου της μεθόδου Fujiwara, στην φορτωμένη κατάσταση.

5.5 Αποτελέσματα Προτύπου ITTC

Στις επόμενες μεθοδολογίες τα αποτελέσματα που έχουν παρουσιαστεί εμπεριέχουν την πρόσθετη αντίσταση του ανέμου καθώς και την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού όμως μόνο για όσα σημεία η κατεύθυνση του κύματος είναι μετωπική ($\pm 45^\circ$) όπως αναφέρει η μεθοδολογία. Η πραγματική ταχύτητα του ανέμου για αυτά τα σημεία φαίνεται στα επόμενα διαγράμματα τα οποία επιδεικνύουν εξαρχής (σε συνδυασμό με το συνολικό διάγραμμα αντιστάσεων 5.4) την εκτιμώμενη ισχύ που θα προκύψει λόγω των κυματισμών.



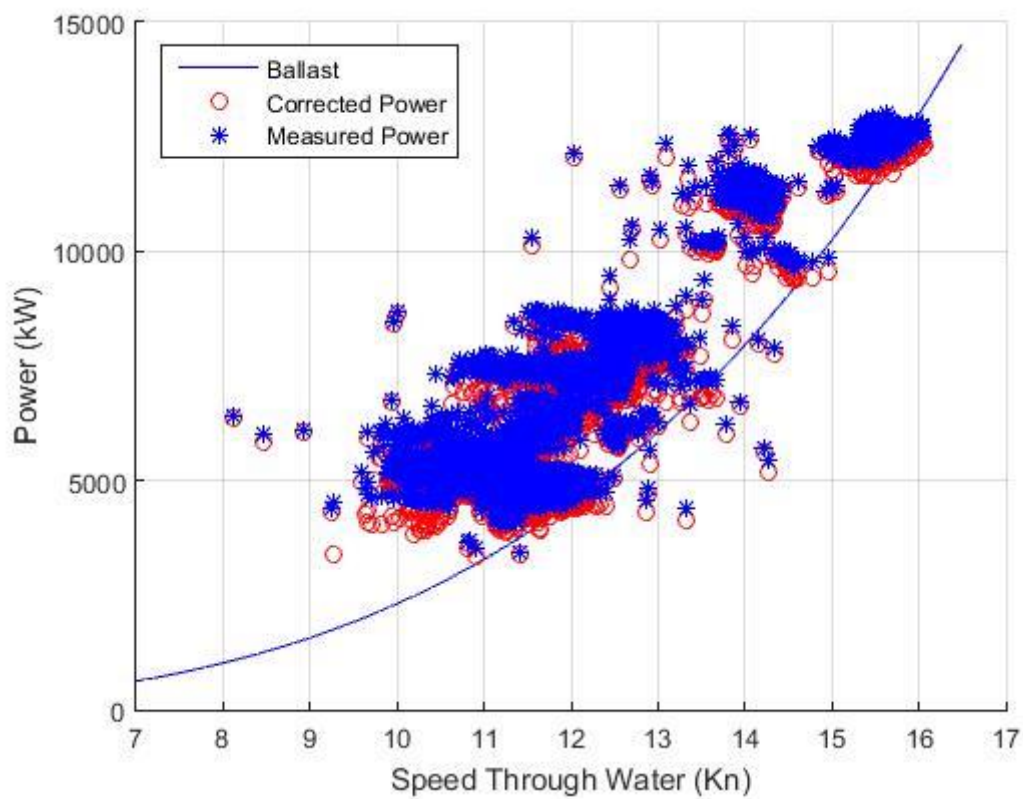
Εικόνα 5.7. Πραγματικές ταχύτητες ανέμου για τα σημεία ερματισμένης κατάστασης σε μετωπικούς κυματισμούς.



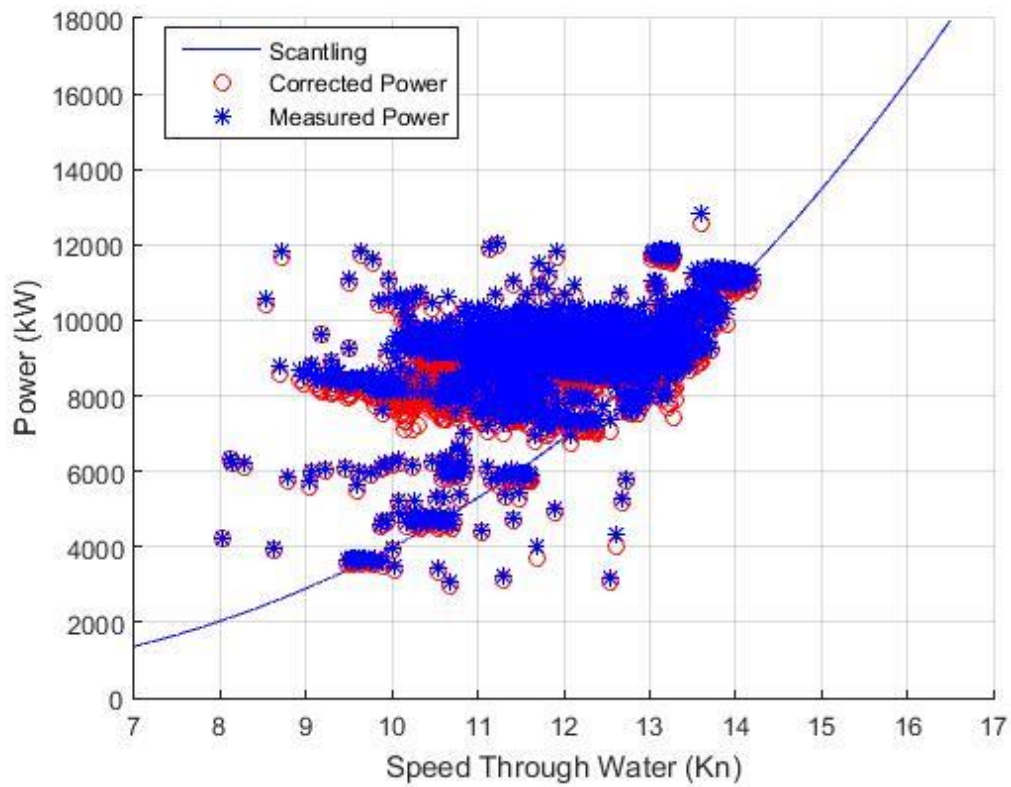
Εικόνα 5.8. Πραγματικές ταχύτητες ανέμου για τα σημεία φορτωμένης κατάστασης σε μετωπικούς κυματισμούς.

5.5.1 Μέθοδος Υπολογισμού Stawave 1

Σε αυτή την περίπτωση για τον υπολογισμό της τελικής ισχύος συνυπολογίζεται και αντίσταση που προκύπτει από τους κυματισμούς. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στο εδάφιο (3.2.1) προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.



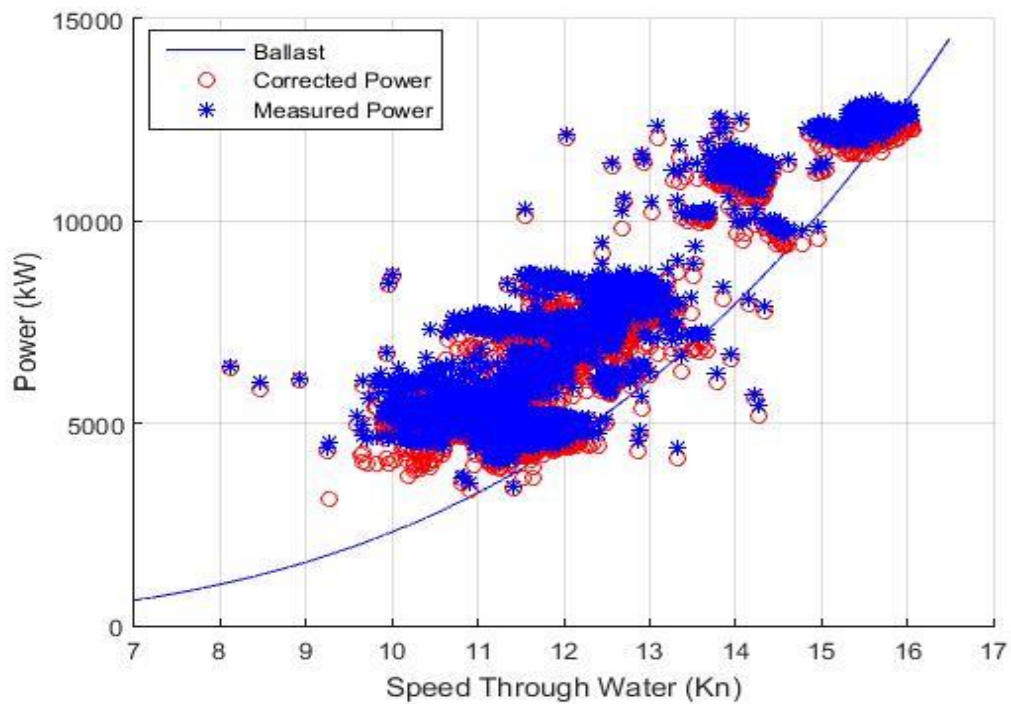
Εικόνα 5.9. Σύγκριση διορθωμένης ισχύος κατά ITTC (Stawave 1) με μετρημένη ισχύ, με συντελεστές ανέμου συντελεστές αντίστασης ανέμου της μεθόδου Fujiwara, στην ερματισμένη κατάσταση.



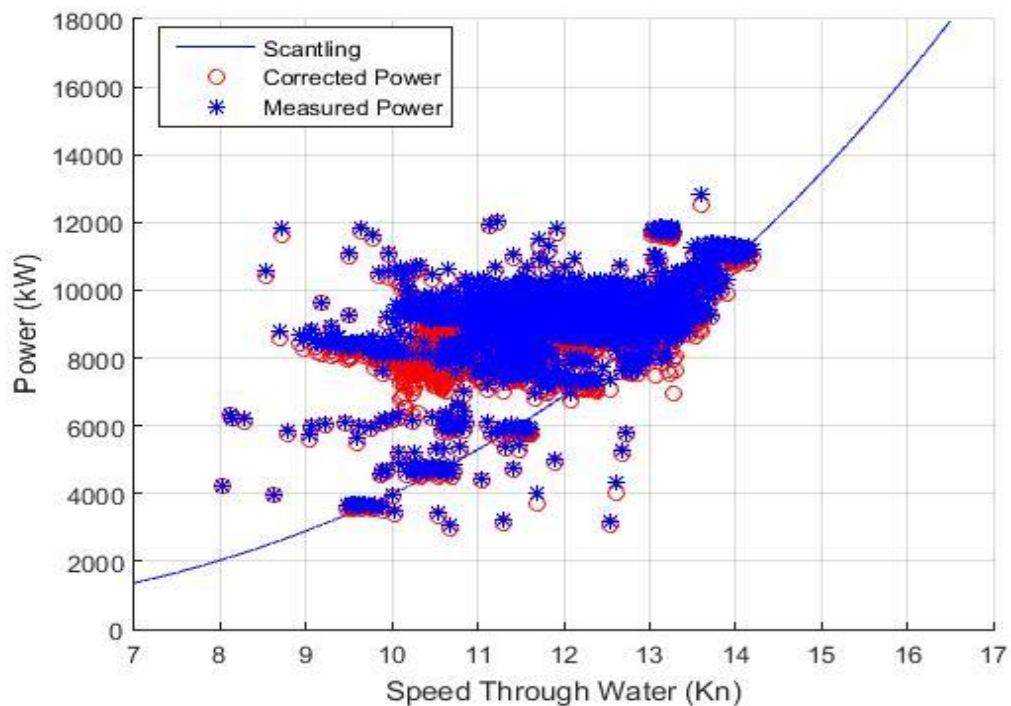
Εικόνα 5.10. Σύγκριση διορθωμένης ισχύος κατά ITTC (Stawave 1) με μετρημένη ισχύ, με συντελεστές ανέμου συντελεστές αντίστασης ανέμου της μεθόδου Fujiwara, στην φορτωμένη κατάσταση.

5.5.2 Μέθοδος Υπολογισμού Stawave 2

Βασιζόμενοι στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο εδάφιο (3.2.2) παράγονται τα παρακάτω αποτελέσματα στα οποία οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για συντελεστές αντίστασης από την μεθόδου Fujiwara.



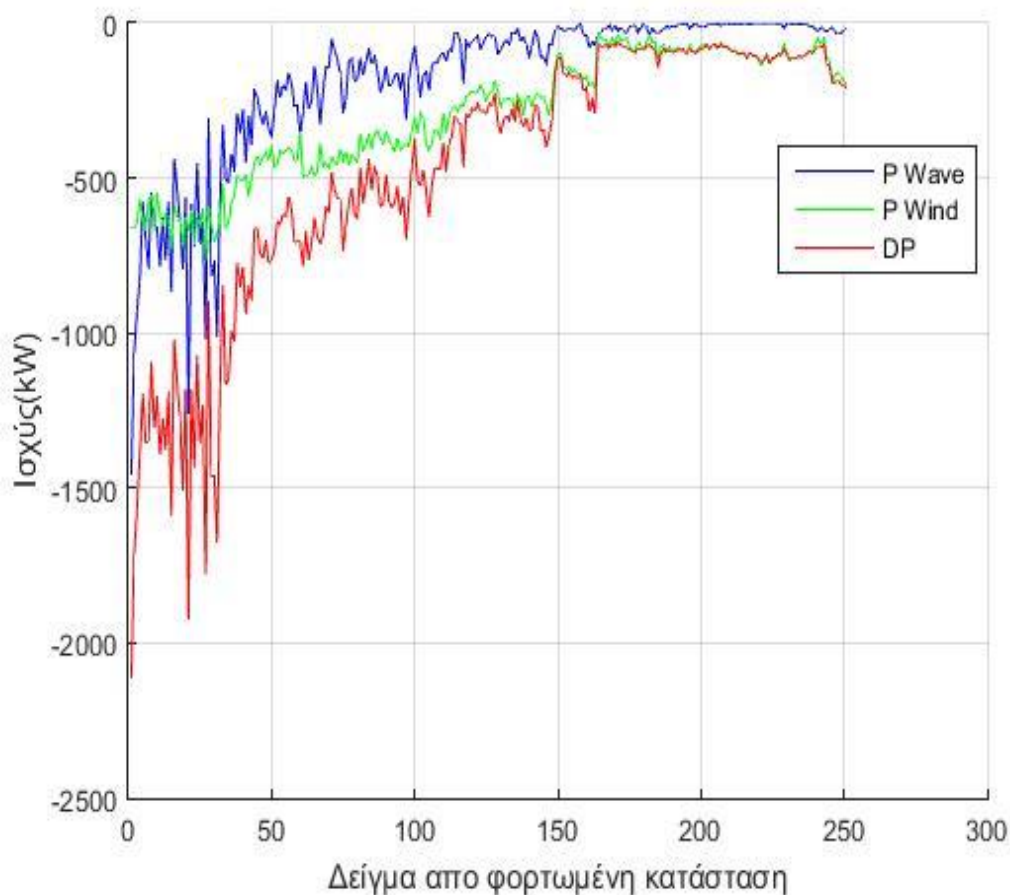
Εικόνα 5.11. Σύγκριση διορθωμένης ισχύος κατά ITTC (Stawave 2) με μετρημένη ισχύ, με συντελεστές ανέμου συντελεστές αντίστασης ανέμου της μεθόδου Fujiwara, στην ερματισμένη κατάσταση.



Εικόνα 5.12. Σύγκριση διορθωμένης ισχύος κατά ITTC (Stawave 2) με μετρημένη ισχύ, με συντελεστές ανέμου συντελεστές αντίστασης ανέμου της μεθόδου Fujiwara, στην φορτωμένη κατάσταση.

5.6 Χρονοδιάγραμμα Αντιστάσεων - Ισχύος

Το χρονοδιάγραμμα περιλαμβάνει τις τιμές των αντιστάσεων του ανέμου και των κυματισμών σύμφωνα με την μέθοδο Stawave 2, καθώς και την διαφορά της τελική ισχύος από την αρχική ισχύ. Η ισχύς που προκύπτει από τις πρόσθετες αντιστάσεις διαμορφώνεται σύμφωνα με την σχέση (3.39) αμελώντας τον όρο P_D . Το αρνητικό πρόσημο στα αποτελέσματα υποδηλώνει την απώλεια ισχύος που επιφέρουν αυτές και η οποία οφείλεται στην πραγματική κατεύθυνση του ανέμου με το πλοίο. Για την παραγωγή του έχει ληφθεί ένα δείγμα μιας χρονοσειράς 250 σημείων από την φορτωμένη κατάσταση. Με βάση το χρονοδιάγραμμα μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί εάν η μεθοδολογία που έχει χρησιμοποιηθεί είναι λειτουργική μιας και γίνεται μια ταυτόχρονη σύγκριση των μεταβλητών που καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα δηλαδή την ισχύ.



Εικόνα 5.13. Χρονοδιάγραμμα απώλειας ισχύος λόγω επίδρασης των πρόσθετων αντιστάσεων κυματισμού - ανέμου.

5.7 Υπολογισμός Δεικτών Απόδοσης

Τελικά και αφού έχουν υπολογιστεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία που έχουν να κάνουν με την παραγωγή των τιμών των αντιστάσεων από τους κυματισμούς και τον άνεμο και την επίδραση που επιφέρουν αυτές στην ισχύ του πλοίου μπορούν να παραχθούν οι δείκτες που σχετίζονται με την αύξηση της ισχύος ή απώλεια της ταχύτητας. Οι δείκτες αυτοί έχουν οριστεί στην ενότητα 2.1.

Οι αναμενόμενες τιμές προκύπτουν από το την καμπύλη αναφοράς του διαγράμματος ταχυτήτων ισχύος. Επιπλέον οι μετρημένες τιμές αναφέρονται στην κανονικοποιημένη κατάσταση οπότε δεν απαιτούνται περαιτέρω υπολογισμοί διόρθωσης.

Έτσι εφαρμόζοντας τους παραπάνω τύπους στα δεδομένα προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα στα οποία συγκρίνονται οι τιμές του κάθε δείκτη, για την κάθε κατάσταση πλεύσης (ερματισμένη και φορτωμένη), για τις περιπτώσεις που εξετάζονται δηλαδή το πρότυπο ISO 19030 κατά το οποίο λαμβάνεται υπόψη μόνο η αντίσταση του ανέμου, και αυτό της ITTC στο οποίο συμπεριλαμβάνει και την αντίσταση κυματισμών.

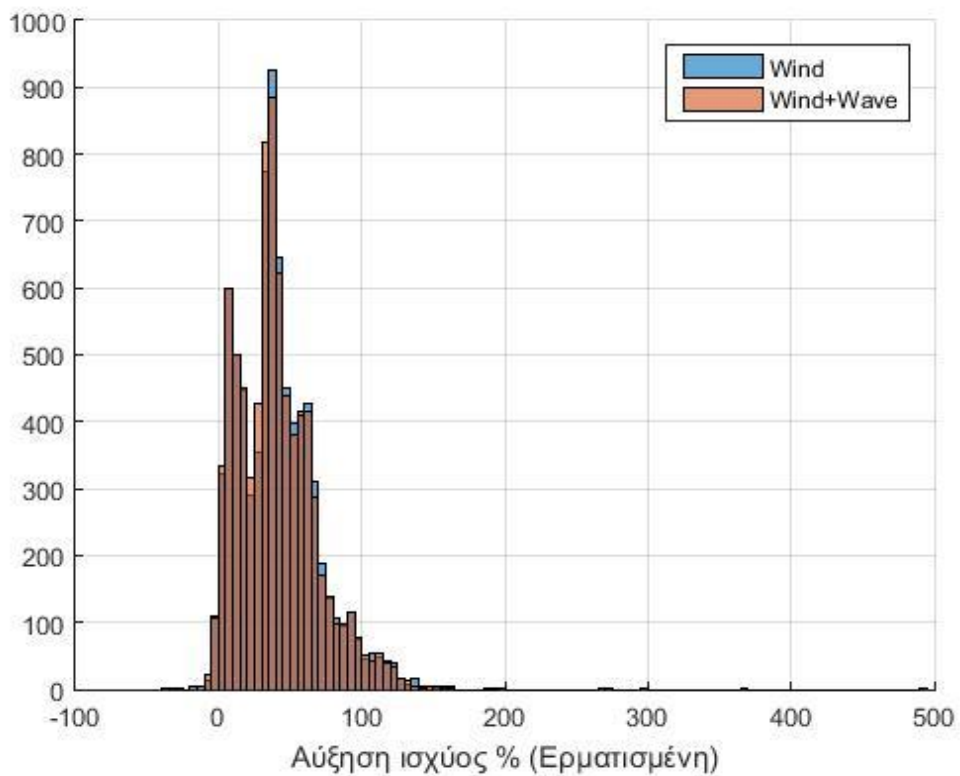
Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται κάποια βασικά στατιστικά στοιχεία προκειμένου να μπορέσει να πραγματοποιηθεί και μία αναλυτική σύγκριση εκτός από τα διαγράμματα.

Πίνακας 5.1. Στατιστικά στοιχεία για τους δείκτες του ISO 19030.

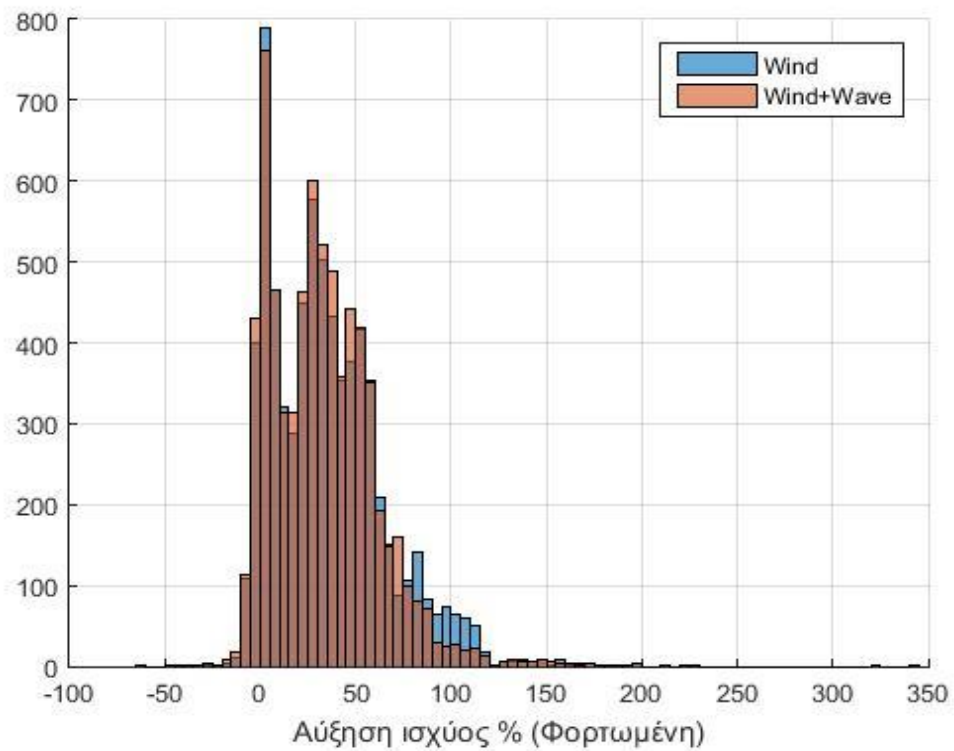
	Αύξηση ισχύος (φορτωμένη) %	Αύξηση ισχύος (ερματισμένη) %	Απώλεια ταχύτητας % (φορτωμένη)	Απώλεια ταχύτητας % (ερματισμένη)
Μέση τιμή	35.128	41.317	-8.583	-8.420
Διάμεσος	30.799	37.944	-8.541	-8.392
Τυπική απόκλιση	30.813	28.257	6.417	4.655

Πίνακας 5.2. Στατιστικά στοιχεία για τους δείκτες του ISO 19030, συμπεριλαμβάνοντας και την αντίσταση κυματισμού.

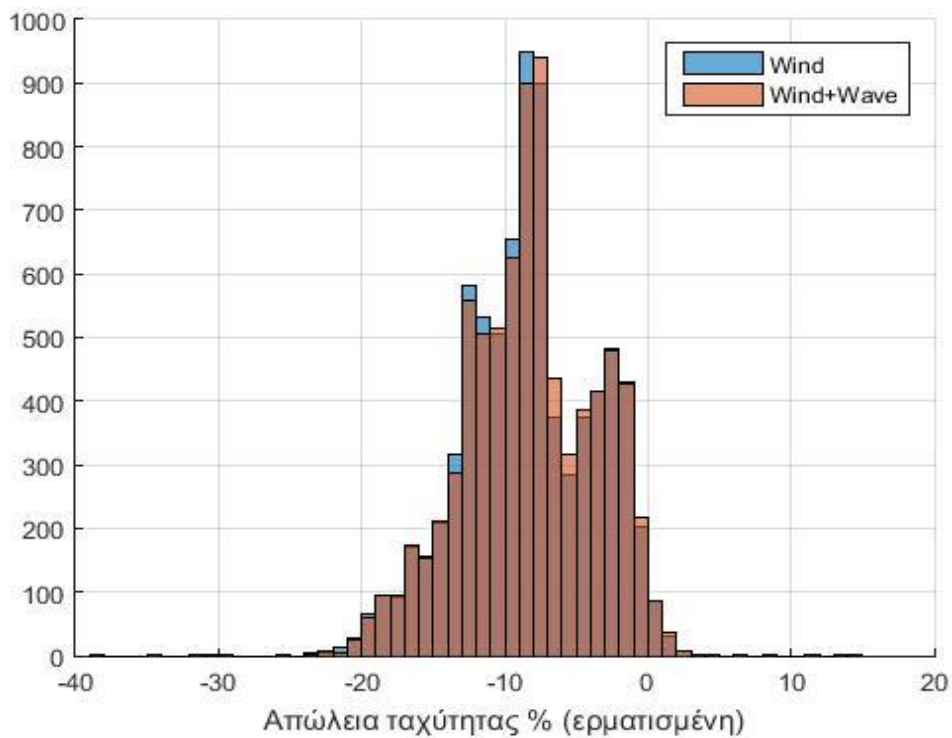
	Αύξηση ισχύος (φορτωμένη) %	Αύξηση ισχύος (ερματισμένη)%	Απώλεια ταχύτητας % (φορτωμένη)	Απώλεια ταχύτητας % (ερματισμένη)
Μέση τιμή	33.026	40.533	-8.210	-8.288
Διάμεσος	30.204	37.114	-8.403	-8.241
Τυπική απόκλιση	28.607	27.940	6.101	4.628



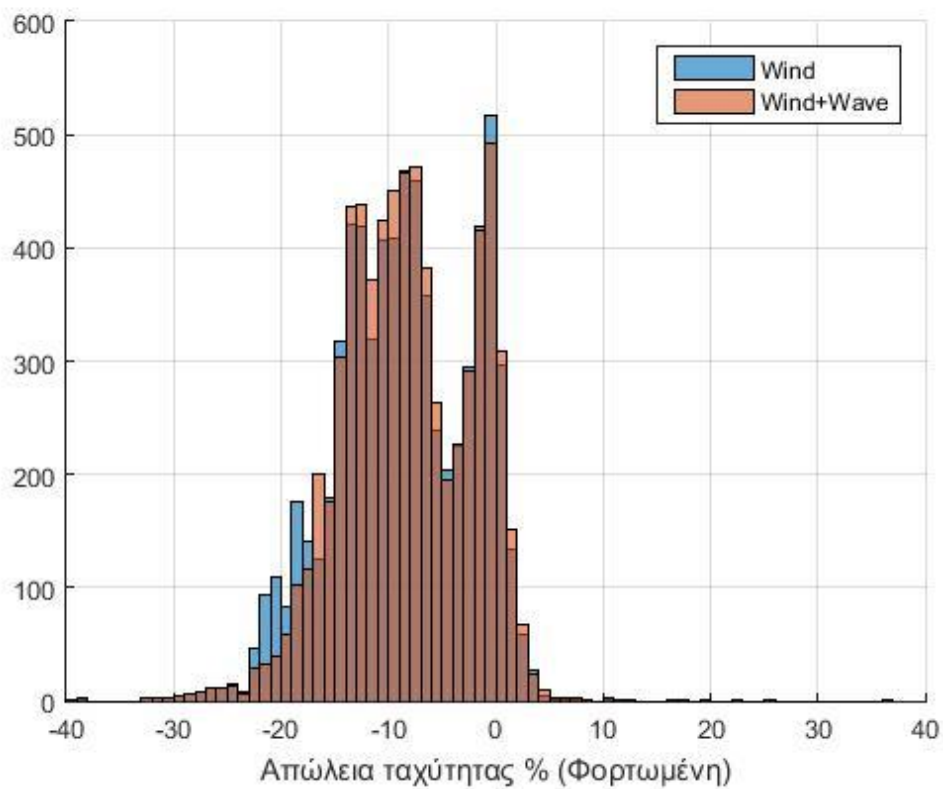
Εικόνα 5.14. Αύξηση ισχύος για αντίσταση ανέμου και κυματισμού (Stawave 2) στην ερματισμένη κατάσταση.



Εικόνα 5.15. Αύξηση ισχύος για αντίσταση ανέμου και κυματισμού (Stawave 2) στην φορτωμένη κατάσταση.



Εικόνα 5.16. Απώλεια ταχύτητας για αντίσταση ανέμου και κυματισμού (Stawave 2) στην ερματισμένη κατάσταση.



Εικόνα 5.17. Απώλεια ταχύτητας για αντίσταση ανέμου και κυματισμού (Stawave 2) στην φορτωμένη κατάσταση.

5.8 Αποτελέσματα Για Συνθήκες Αναφοράς

Σύμφωνα με την μεθοδολογία του ISO 19030 στην περίπτωση που εξετάζεται κάποια κατάσταση αναφοράς τα δεδομένα θα πρέπει να φιλτραριστούν και για την ταχύτητα του ανέμου και του ύψους κύματος όπως αναφέρεται και στο 2 κεφάλαιο της εργασίας. Έτσι θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα αποτελέσματα και για αυτή την περίπτωση στα οποία περιλαμβάνονται τόσο η πρόσθετη αντίσταση του ανέμου όσο και η πρόσθετη αντίσταση του κυματισμού.

Πίνακας 5.3. Στατιστικά στοιχεία για τους δείκτες συνολικά σε κατάσταση αναφοράς.

Συνθήκη Αναφοράς	Αύξηση ισχύος (φορτωμένη) %	Αύξηση ισχύος (ερματισμένη)%	Απώλεια ταχύτητας % (φορτωμένη)	Απώλεια ταχύτητας % (ερματισμένη)
Μέση τιμή	30.876	40.552	-7.750	-8.291
Διάμεσος	28.401	37.130	-7.977	-8.244
Τυπική απόκλιση	27.870	27.949	5.948	4.629

6 Συμπεράσματα και Περαιτέρω Έρευνα

6.1 Συμπεράσματα

Από τα στατιστικά αποτελέσματα των δεικτών αξιολόγησης παρατηρείται αρχικά ότι στην ερματισμένη κατάσταση η αύξηση ισχύος είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή της φορτωμένης ανεξαρτήτως μεθοδολογίας. Αυτό οφείλεται στις πρόσθετες αντιστάσεις και κυρίως σε αυτή του ανέμου μιάς και η εκτεθειμένη επιφάνεια είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Επιπλέον παρόλο που η πραγματική ταχύτητα του ανέμου στην φορτωμένη κατάσταση έχει μεγαλύτερες τιμές από αυτή της ερματισμένης, όπως αυτό φαίνεται και από τις εικόνες 4.1 και 4.2, η διαφορά αυτή δεν αποτυπώνεται στα αποτελέσματα λόγω της εκτεθειμένης επιφάνειας που προαναφέρθηκε.

Αύξηση ισχύος

Για την φορτωμένη κατάσταση από τους δείκτες και πιο συγκεκριμένα από την διάμεσο των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτει πως η αύξηση ισχύος είναι μικρότερη του 1% (0.595%) και συνεπώς δεν παρατηρείται διαφορά στις δύο μεθοδολογίες.

Το ίδιο συμβαίνει και στην ερματισμένη κατάσταση στην οποία η διαφορά πάλι είναι μικρότερη του 1%(0.830%) και άρα οι δύο μεθοδολογίες συγκλίνουν.

Απώλεια ταχύτητας

Η διαφορά στην απώλεια ταχύτητας για την φορτωμένη κατάσταση μεταξύ των δύο μεθοδολογιών είναι πολύ μικρή 0.138% βασιζόμενοι και πάλι στις τιμές της διαμέσου για τον δείκτη αυτό.

Αντίστοιχα και στην ερματισμένη κατάσταση η διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθοδολογίες ανέρχεται στο 0.151%.

Φαίνεται ότι και στην περίπτωση της απώλειας ταχύτητας οι δύο μεθοδολογίες συγκλίνουν πάρα πολύ. Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από τις χαμηλές τιμές της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου που έχουν σαν αποτέλεσμα μικρή πρόσθετη αντίσταση κυματισμού.

Συνεπώς, η συνιστώσα της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού δεν διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στα υπό μελέτη δεδομένα, λόγω των τιμών της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου που επικρατούν με συνέπεια να οδηγεί σε χαμηλά ύψη κύματος. Από τις εικόνες 5.4 και 4.7 συμπεραίνεται πως η συνιστώσα αυτή αποκτά νόημα και επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα για τιμές ανέμου μεγαλύτερες από 12 m/s και σημαντικό ύψος κύματος μεγαλύτερο από 3 m, τιμές κατά τις οποίες η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του ανέμου.

6.2 Περαιτέρω Έρευνα

Προκειμένου να βελτιωθεί η μέτρηση της αποδοτικότητας θα μπορούσε να εξεταστεί τι συμβαίνει στην περίπτωση που οι κυματισμοί δεν είναι μόνο μετωπικοί.

Επιπλέον μπορεί να μελετηθεί και κατά πόσο η μετρημένη ισχύς συμπίπτει με την ισχύ που προκύπτει με βάση την κατανάλωση του καυσίμου.

Τέλος δύναται να μελετηθούν διάφορα δρομολόγια που θα διακρίνονται από τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτά, προκειμένου να παραχθούν οι δείκτες αξιολόγησης, και σύμφωνα με αυτούς να προκύψει η βέλτιστη διαδρομή.

Βιβλιογραφία

Ahmed Mohamed Elfatih Saad, "Wave and wind conditions in the Red Sea A numerical study using a third generation wave model", Geophysical Institute University of Bergen, Norway, 2010.

American Bureau of Shipping, " Guidance notes on selecting design wave by long term stochastic method ", ABS Plaza, Texas, 2016

Dong-Min Park, Jae-Hoon Lee, Yoo-Won Jung, Jaehoon Lee, Yonghwan Kim, Frederik Gerhardt "Experimental and numerical studies on added resistance of ship in oblique sea conditions ", Ocean Engineering, vol. 186, pp. 1 – 14, 2019

Fabrice Ardhuin, Alejandro Orfila, "New Frontiers in Operational Oceanography", Chapter 14, "Wind Waves", 2018.

Ge Chen, Bertrand Chapron, Robert Ezraty, Douglas Vandemark "A Global View of Swell and Wind Sea Climate in the Ocean by Satellite Altimeter and Scatterometer", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology vol. 19, no. 11, pp. 1849 – 1859, 2002.

Henk van den Boom, Hans Huisman, Frits Mennen, "New Guidelines for Speed/Power Trials Level playing field" In SWZ Maritime, no. 99, pp. 1-11, 2013.

International Organization for Standardization, "ISO 19030: Ships and marine technology - Measurement of changes in hull and propeller performance. Part 2: Default method," ISO, Geneva, 2016

International Towing Tank Conference, "ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines: Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trials", ITTC, 2017

M. Limelette, P. A. Lakshmyanarayana, Dominic A. Hudson, "Derivation of the calm water performance of a ship through normalisation of shaft power from full scale measurements", in Full scale Ship Performance, Royal Institution of Naval Architects, United Kingdom, pp. 1-7, 2018

Shukai Liu, Apostolos Papanikolaou, "Regression analysis of experimental data for added resistance in waves of arbitrary heading and development of a semi-empirical formula", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, vol. 139, no. 1, 2016

Tomasz Cepowski, "The prediction of ship added resistance at the preliminary design stage by the use of an artificial neural network", Ocean Engineering, vol. 195, pp. 1 – 14, 2020

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α Κώδικές MATLAB

Windtheory.m

%Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για την παραγωγή συγκριτικών διαγραμμάτων σχετικά με την πρόσθετη αντίσταση ανέμου

```
clear all
close all
% Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πλοίου
Aod=420.63;
D=23.10;
Loa=264;
B=50;
%Συντελεστές για πράξεις στην μέθοδο Fujiwara
b10=0.922; b11=-0.507; b12=-1.162; b20=-0.018; b21=5.091;
b22=-10.367; b23=3.011; b24=0.341; d10=-0.458; d11=-3.245;
d12=2.313; d20=1.901; d21=-12.727; d22=-24.407; d23=40.310;
d24=5.481; e10=0.585; e11=0.906; e12=-3.239; e20=0.314;
e21=1.117;

%Υπολογισμένες τιμές για κατάσταση laden
Alad=802;
Axvladen=802;
Hbrladen=38-16;
Cmcladen=-16.175;
Hcladen=6.57;
Ayvladen=Aod+(D-16)*268;
%Υπολογισμένες τιμές για κατάσταση ballast
Abal=802+(16-7.3)*50;
Axvballast=802+(16-7.3)*50;
Hbrballast=38-7.3;
Cmcballast=-8.205;
Hcballast=9.72;
Ayvballast=Aod+(D-7.3)*268;
%Επαναληπτική διαδικασία για τον υπολογισμό των συντελεστών αντίστασης ανέμου στην
ballast κατάσταση
mm=1;
for yy=0:10:180;
    if (yy>=0) && (yy<90)
        Clfballast(mm,1)=b10+b11*Ayvballast/(Loa*B)+b12*Cmcballast/Loa;
        Cxllballast(mm,1)=d10+d11*Ayvballast/(Loa*Hbrballast)+
d12*Axvballast/(B*Hbrballast);
        Calfballast(mm,1)=e10+e11*Aod/Ayvballast+e12*B/Loa;
        Cdaballast(mm,1)=Clfballast(mm,1)*cosd(yy)+Cxllballast(mm,1)*(sind(yy)-
0.5*sind(yy)*(cosd(yy))^2)*sind(yy)*cosd(yy)+Calfballast(mm,1)*sind(yy)*(cosd(yy)^3);
        else if (yy>90) && (yy<=270)
            Clfballast(mm,1)=b20+b21*B/Loa+b22*Hcballast/Loa+b23*Aod/(Loa^2)+
b24*Axvballast/(B^2);
            Cxllballast(mm,1)=d20+d21*Ayvballast/(Loa*Hbrballast)+
d22*Axvballast/Ayvballast+d23*B/Loa+d24*Axvballast/(B*Hbrballast);
            Calfballast(mm,1)=e20+e21*Aod/Ayvballast;
            Cdaballast(mm,1)=Clfballast(mm,1)*cosd(yy)+Cxllballast(mm,1)*(sind(yy)-
0.5*sind(yy)*(cosd(yy))^2)*sind(yy)*cosd(yy)+Calfballast(mm,1)*sind(yy)*(cosd(yy)^3);
            else if yy==90
                Clf90a=b10+b11*Ayvballast/(Loa*B)+b12*Cmcballast/Loa;
                Cxll90a=d10+d11*Ayvballast/(Loa*Hbrballast)+
d12*Axvballast/(B*Hbrballast);
                Calf90a=e10+e11*Aod/Ayvballast+e12*B/Loa;
                Cda90a=Clf90a*cosd(89.9)+Cxll90a*(sind(89.9)-
0.5*sind(89.9)*(cosd(89.9))^2)*sind(89.9)*cosd(89.9)+Calf90a*sind(89.9)*(cosd(89.9)^3);
                Clf90b=b20+b21*B/Loa+b22*Hcballast/Loa+b23*Aod/(Loa^2)+
b24*Axvballast/(B^2);
```

```

        Cx1190b=d20+d21*Ayvballast/(Loa*Hbrballast)+d22*Axvballast/Ayvballast+
d23*B/Loa+d24*Axvballast/(B*Hbrballast);
        Calf90b=e20+e21*Aod/Ayvballast;
        Cda90b=Clf90b*cosd(90.1)+Cx1190b*(sind(90.1)-
0.5*sind(90.1)*(cosd(90.1))^2)*sind(90.1)*cosd(90.1)+Calf90b*sind(90.1)*(cosd(90.1)^3);
        Cdaballast(mm,1)= 0.5*(Cda90a+Cda90b);
    end
end
end
mm=mm+1;
end

```

%Επιαναληπτική διαδικασία για τον υπολογισμό των συντελεστών αντίστασης ανέμου στην ladden κατάσταση

```

mm=1;
for yy=0:10:180;
if (yy>=0) && (yy<90)
    Clfladen(mm,1)=b10+b11*Ayvladen/(Loa*B)+b12*Cmcladen/Loa;
    Cx11laden(mm,1)=d10+d11*Ayvladen/(Loa*Hbrladen)+d12*Axvladen/(B*Hbrladen);
    Calfladen(mm,1)=e10+e11*Aod/Ayvladen+e12*B/Loa;
    Cdaladen(mm,1)=Clfladen(mm,1)*cosd(yy)+Cx11laden(mm,1)*(sind(yy)-
0.5*sind(yy)*(cosd(yy))^2)*sind(yy)*cosd(yy)+Calfladen(mm,1)*sind(yy)*(cosd(yy)^3);
    else if (yy>90) && (yy<=270)
        Clfladen(mm,1)=b20+b21*B/Loa+b22*Hcladen/Loa+b23*Aod/(Loa^2)+
b24*Axvladen/(B^2);
        Cx11laden(mm,1)=d20+d21*Ayvladen/(Loa*Hbrballast)+d22*Axvladen/Ayvladen+
d23*B/Loa+d24*Axvladen/(B*Hbrladen);
        Calfladen(mm,1)=e20+e21*Aod/Ayvladen;
        Cdaladen(mm,1)=Clfladen(mm,1)*cosd(yy)+Cx11laden(mm,1)*(sind(yy)-
0.5*sind(yy)*(cosd(yy))^2)*sind(yy)*cosd(yy)+Calfladen(mm,1)*sind(yy)*(cosd(yy)^3);
        else if yy==90
            Clf90a=b10+b11*Ayvladen/(Loa*B)+b12*Cmcladen/Loa;
            Cx1190a=d10+d11*Ayvladen/(Loa*Hbrladen)+d12*Axvladen/(B*Hbrladen);
            Calf90a=e10+e11*Aod/Ayvladen+e12*B/Loa;
            Cda90a=Clf90a*cosd(89.9)+Cx1190a*(sind(89.9)-
0.5*sind(89.9)*(cosd(89.9))^2)*sind(89.9)*cosd(89.9)+Calf90a*sind(89.9)*(cosd(89.9)^3);
            Clf90b=b20+b21*B/Loa+b22*Hcladen/Loa+b23*Aod/(Loa^2)+
b24*Axvladen/(B^2);
            Cx1190b=d20+d21*Ayvladen/(Loa*Hbrladen)+d22*Axvladen/Ayvladen+
d23*B/Loa+d24*Axvladen/(B*Hbrladen);
            Calf90b=e20+e21*Aod/Ayvladen;
            Cda90b=Clf90b*cosd(90.1)+Cx1190b*(sind(90.1)-
0.5*sind(90.1)*(cosd(90.1))^2)*sind(90.1)*cosd(90.1)+Calf90b*sind(90.1)*(cosd(90.1)^3);
            Cdaladen(mm,1)= 0.5*(Cda90a+Cda90b);
        end
    end
end
mm=mm+1;
end

```

%τα αποτελέσματα των συντελεστών αντίστασης ανέμου που υπολογίστηκαν και αυτά που αντιλήθηκαν απο τα δεδομένα και πίνακες της ITTC για περαιτέρω επεξεργασία

```

ra=1.225; %πυκνότητα του αέρα
Fujiwaraladen=[0.90395 0.91222 0.88596 0.82256 0.72451 0.59909 0.45619 0.3052 0.15238
0.00012 -0.1308 -0.2754 -0.4375 -0.6059 -0.7572 -0.8649 -0.9102 -0.8901 -0.8182];
Fujiwaraballast=[0.7793 0.7693 0.71937 0.6303 0.51004 0.37479 0.2452 0.13837 0.05966 -
0.00051 -0.15863 -0.3172 -0.47208 -0.61435 -0.73058 -0.8067 -0.83348 -0.8112 -0.7514];
F3ballast=[0.63 0.66 0.61 0.56 0.47 0.38 0.29 0.19 0.08 0.02 -0.04 -0.06 -0.13 -0.21 -
0.32 -0.45 -0.62 -0.76 -0.86];
F3laden=[0.77 0.79 0.75 0.66 0.53 0.4 0.29 0.22 0.14 0.05 -0.06 -0.17 -0.34 -0.47 -
0.62 -0.73 -0.85 -0.93 -0.96];

```

Gwnies=[0:10:180]; %γωνίες κατεύθυνσης ανέμου που αντιστοιχούν στους συντελεστές αντίστασης ανέμου

vv=12*0.5144; %ταχύτητα πλοίου


```

yyw=[0:15:180]; %γωνίες κατεύθυνσης ανέμου που λαμβάνονται
vr=[0:2.5:20]; %ταχύτητες ανέμου
%Τιμές ισχύος σύμφωνα με την καμπύλη του Model Test
Parxikhlad=6450;
Parxikhbal=5300;
%Παραγωγή διαγράμματος ποσοστιαίας διαφοράς ισχύος ανα γωνία κατεύθυνσης
%ανέμου για φορτωμένη κατάσταση και συντελεστές αντίστασης ανέμου Fujiwara
for jj=1:13
    for ii=1:9
        cda=interp1(Gwnies,Fujiwaraladen,yyw(jj),'linear'); %υπολογισμός συντελεστών
αντίστασης ανέμου για τις λαμβανόμενες γωνίες κατεύθυνσης
        Rrwpin=0.5*ra*vr(ii)^2*Alad*cda; %Αντίσταση ανέμου οφειλόμενη στην σχετική
ταχύτητα ανέμου
        R0wpin=0.5*ra*vv^2*Alad*0.90395; %Αντίσταση αέρα σε κατάσταση χωρίς άνεμο
        DPaddedwindlad(jj,ii)=(Rrwpin-R0wpin)*vv/0.7/1000; %υπολογισμός πρόσθετης
ισχύος
        Pdfinallad(jj,ii)=Parxikhlad-DPaddedwindlad(jj,ii);
        Posostolad(jj,ii)=(Pdfinallad(jj,ii)-Parxikhlad)/Parxikhlad*100;% ποσοστιαία
διαφορά εκτιμώμενης και υπολογισμένης ισχύος
    end
end

%Παραγωγή διαγράμματος ποσοστιαίας διαφοράς ισχύος ανα γωνία κατεύθυνσης
%ανέμου για ερματισμένη κατάσταση και συντελεστές αντίστασης ανέμου Fujiwara
for jj=1:13
    for ii=1:9
        cda=interp1(Gwnies,Fujiwaraballast,yyw(jj),'linear');
        Rrwpin=0.5*ra*vr(ii)^2*Abal*cda;
        R0wpin=0.5*ra*vv^2*Abal*0.779319;
        DPaddedwindbal(jj,ii)=(Rrwpin-R0wpin)*vv/0.7/1000;
        Pdfinalbal(jj,ii)=Parxikhlad-DPaddedwindbal(jj,ii);
        Posostobal(jj,ii)=(Pdfinalbal(jj,ii)-Parxikhbal)/Parxikhbal*100;
    end
end

%Παραγωγή διαγραμμάτων πρόσθετης αντίστασης ανέμου συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για
μετωπικό άνεμο (0 μίρες)
for ii=1:9
    %laden κατάσταση για τις 2 μεθοδολογίες
    RrwFujiwaraladen(ii)=0.5*ra*vr(ii)^2*Alad*0.90395;%Αντίσταση ανέμου οφειλόμενη στην
σχετική ταχύτητα ανέμου με συντελεστές αντίστασης ανέμου απο Fujiwara
    R0wFujiwaraladen(ii)=0.5*ra*vv^2*Alad*0.90395;%Αντίσταση αέρα σε κατάσταση χωρίς
άνεμο με συντελεστές αντίστασης ανέμου απο Fujiwara
    RrwF3laden(ii)=0.5*ra*vr(ii)^2*Alad*0.77;%Αντίσταση ανέμου οφειλόμενη στην σχετική
ταχύτητα ανέμου με συντελεστές αντίστασης ανέμου απο F3 δεδομένα της ITTC
    R0wF3laden(ii)=0.5*ra*vv^2*Alad*0.77;%Αντίσταση αέρα σε κατάσταση χωρίς άνεμο με
συντελεστές αντίστασης ανέμου απο F3 δεδομένα της ITTC

    %ballast κατάσταση για τις 2 μεθοδολογίες
    RrwFujiwaraballast(ii)=0.5*ra*vr(ii)^2*Abal*0.779319;
    R0wFujiwaraballast(ii)=0.5*ra*vv^2*Abal*0.779319;
    RrwF3ballast(ii)=0.5*ra*vr(ii)^2*Abal*0.63;
    R0wF3ballast(ii)=0.5*ra*vv^2*Abal*0.63;
end
%διαγράμματα πρόσθετης αντίστασης ανέμου για φορτωμένη(5) και ερματισμένη κατάσταση(6)
figure (5)
hold on
plot(vr,RrwFujiwaraladen,'r')
plot(vr,RrwF3laden,'b')
xlabel('Ταχύτητα Ανέμου (m/s)')
ylabel('Πρόσθετη Αντίσταση [N]')
legend({'Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου απο Fujiwara ', 'Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου
απο F3 '},'location','northeast')
grid

```

```

figure (6)
hold on
plot(vr,RrwFujiwaraballast,'r')
plot(vr,RrwF3ballast,'b')
xlabel('Ταχύτητα Ανέμου (m/s)')
ylabel('Πρόσθετη Αντίσταση [N]')
legend({'Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου απο Fujiwara ','Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου απο F3 ','location','northeast'})
grid

%Διαγράμματα ποσοστιαίας διαφοράς ισχύος ανα γωνία κατεύθυνσης ανέμου για Ballast(1) και Laden(2) κατάσταση
figure (1)
hold on
plot(γγw,Posostobal)
xlabel('Γωνία Ανέμου (degrees)')
ylabel('Ποσοστιαία διαφορά')
legend({'0 m/s','2,5 m/s','5 m/s','7,5 m/s','10 m/s','12,5 m/s','15 m/s','17,5 m/s','20 m/s'},'location','northeast')
grid

figure (2)
hold on
plot(γγw,Posostolad)
xlabel('Γωνία Ανέμου (degrees)')
ylabel('Ποσοστιαία διαφορά')
legend({'0 m/s','2,5 m/s','5 m/s','7,5 m/s','10 m/s','12,5 m/s','15 m/s','17,5 m/s','20 m/s'},'location','northeast')
grid

%Διαγράμματα για σύγκριση των συντελεστών αντίστασης ανέμου για τις 2 μεθοδολογίες για κατάσταση Laden(3) και Ballast(4)
figure (3)
hold on
plot(Gwnies,Fujiwaraladen,'b')
plot(Gwnies,F3laden,'g')
xlabel('Γωνία Ανέμου (degrees)')
ylabel('Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου')
legend({'Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου απο Fujiwara','Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου απο F3'},'location','northeast')
grid

figure (4)
hold on
plot(Gwnies,Fujiwaraballast,'b')
plot(Gwnies,F3ballast,'g')
xlabel('Γωνία Ανέμου (degrees)')
ylabel('Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου')
legend({'Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου απο Fujiwara','Συντελεστής Αντίστασης Ανέμου απο F3'},'location','northeast')

```

Wavetheory.m

%Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για την παραγωγή συγκριτικών διαγραμμάτων σχετικά με την πρόσθετη αντίσταση κυματισμού

```
clear all
close all
%εισαγωγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πλοίου
ra=1.225; Alad=802; ds=1025; g=9.81;
Lpp=264; B=50; T=16; Cb=0.8211;
kyy=0.25; Lbwl=34.10;
Vs=12*0.5144; %ταχύτητα πλοίου
%υπολογισμός μεταβλητών που εμπεριέχονται στην μεθοδολογία
Fr=Vs/(sqrt(Lpp*g));
a1=60.3*Cb^(1.34);
f1=0.692*(Vs/(sqrt(T*g)))^0.769+1.81*Cb;
a=8.1*10^(-3);

nn=1;
for vaera=0:0.5:13; %ταχύτητα ανέμου
    vv(nn,1)=vaera;
    vr(nn,1)=sqrt(vaera^2+Vs^2+2*vaera*Vs); %σχετική ταχύτητα ανέμου
% Υπολογισμός του σημαντικού ύψους κύματος απο την ταχύτητα του αέρα
if vaera<7.5
    Hs(nn,1)=0.016*vaera^2;
else
    Hs(nn,1)=0.01*vaera^2+0.00081*vaera^3;
end
za(nn,1)=Hs(nn,1)/2; %πλάτος κύματος
wm(nn,1)=0.4*sqrt(g/Hs(nn,1)); %Υπολογισμός μέγιστης γων. συχνότητας για το φάσμα
BRETSCHEIDER
%υπολογισμός μεταβλητών και τελικώς πρόσθετης αντίστασης κυματισμού με τις
%μεθόδους %STAWAVE 1 STAWAVE 2
ii=1;
oloklhrwma=0;
for ww=0.25:0.01:4; %Τιμες γωνιακής ταχύτητας
    w(ii,1)=ww;
    %EURESH RWAWE THS STAWAVE 2
    wbar(ii,1)=(sqrt(Lpp/g)*kyy^(1/3))/(1.17*Fr^(-0.143))*ww;
if wbar(ii,1)<1
    b1(ii,1)=11;
    d1(ii,1)=14;
else
    b1(ii,1)=-8.5;
    d1(ii,1)=-566*(Lpp/B)^(-2.66);
end
raw(ii,1)=wbar(ii,1)^b1(ii,1)*exp((b1(ii,1)/d1(ii,1))*(1-
wbar(ii,1)^b1(ii,1)))*a1*Fr^(1.5)*exp(-3.5*Fr);
RAWML(ii,1)=4*ds*g*B^2/Lpp*raw(ii,1);
k(ii,1)=ww^2/g;
lamda(ii,1)=2*pi/k(ii,1);
orisma(ii,1)=1.5*k(ii,1)*T;
I1(ii,1)=besseli(1,orisma(ii,1));
K1(ii,1)=besselk(1,orisma(ii,1));
alw(ii,1)=(pi^2*I1(ii,1)^2)/(pi^2*I1(ii,1)^2+K1(ii,1)^2)*f1;
RAWRL(ii,1)=0.5*ds*g*B*alw(ii,1);
Rwave(ii,1)=RAWML(ii,1)+RAWRL(ii,1);
x(ii,1)=lamda(ii,1)/Lpp;
%Εισαγωγή φάσματος ( BRETSCHEIDER) και υπολογισμός ολοκληρώματος
sh(ii,1)=a*g^2/w(ii,1)^5*exp(-5/4*(wm(nn,1)/w(ii,1))^4); %Pierson - Moskowitz
sh1(ii,1)=(1.25/4)*(wm(nn,1)^4)/(w(ii,1)^5)*(Hs(nn,1)^2)*(exp(-
1.25*(wm(nn,1)/w(ii,1))^4));%BRETSCHEIDER
oloklhrwma=oloklhrwma+(Rwave(ii,1)*sh1(ii,1)*0.01);
ii=ii+1;
```

```

end
RAWL(nn,1)=2*oloklhrwma; %STAWAVE 2
STAWAVE1(nn,1)=(1/16)*ds*g*Hs(nn,1)^2*B*sqrt(B/Lbw1); %STAWAVE 1
%ADIASTATOPOIHS ANTISTASEWN STAWAVE 1 - 2
paronomasths(nn,1)=4*ds*g*za(nn,1)^2*B^2/Lpp;
adiastato(nn,1)=RAWL(nn,1)/paronomasths(nn,1);
sta(nn,1)=STAWAVE1(nn,1)/paronomasths(nn,1);

RrwFujiwaraladen(nn,1)=0.5*ra*vvr(nn,1)^2*Alad*0.779319;
R0wFujiwaraladen(nn,1)=0.5*ra*Vs^2*Alad*0.779319;
Rwind(nn,1)=(RrwFujiwaraladen(nn,1)-R0wFujiwaraladen(nn,1));
nn=nn+1;
end
%Διάγραμμα Πρόσθετων Αντιστάσεων συναρτήσει με την πραγματική ταχύτητα
%ανέμου
figure (1)
hold on
plot(vv,Rwind/1000,'r-')
plot(vv,RAWL/1000,'b-')
plot(vv,STAWAVE1/1000,'g')
xlabel('Πραγματική Ταχύτητα Ανέμου [m/s]')
ylabel('Αντίσταση [kN]')
legend({'Rwind','Rwave (sta2)','Rwave (sta1)'},'location','northeast')
grid
%Διάγραμμα συνάρτησης μεταφοράς Rwave και των αντιστάσεων που αποτελείται
figure (2)
hold on
plot(x,Rwave,'r')
plot(x,RAWRL,'b')
plot(x,RAWML,'g')
xlabel('λ/Lpp')
ylabel('Rwave')
legend({'RWAVE','RAWRL','RAWML'),'location','northeast')
grid
%Διάγραμμα ποσοστού μείωσης ισχύος σε σχέση με το σημαντικό ύψος κύματος
figure (3)
hold on
plot(Hs,-(((6450-RAWL*12*0.5144/1000/0.7)-6450)/6450*100),'b')
plot(Hs,-(((6450-STAWAVE1*12*0.5144/1000/0.7)-6450)/6450*100),'r')
xlabel('Σημαντικό Ύψος Κύματος [m]')
ylabel('Ποσοστό Μείωσης Ισχύος')
legend({'Rwave (Stawave 2)','Rwave (Stawave 1)'},'location','northeast')
grid
%Διάγραμμα σημαντικού ύψους κύματος με ταχύτητα ανέμου
figure (4)
hold on
plot(vv,Hs)
xlabel('Ταχύτητα Ανέμου [m/s]')
ylabel('Σημαντικό Ύψος Κύματος [m]')
grid

```

windresFINAL.m

```
%Σκοπός της συνάρτησης αυτής είναι ο υπολογισμός της πρόσθετης αντίστασης
%ανέμου για τα δεδομένα του πλοίου
function
[Vwtref,DRData,DRfujiwara,Vwrref,Ywt]=windresFINAL(Vwr,Vg,Ywr,Y0,Zades,T,Ades,Zrefdes,T
des,B)
Vgms=Vg*0.5144; %Υπολογισμός της ταχύτητας του πλοίου σε m/s
Vwt=sqrt(Vwr.^2+Vgms.^2-2*Vwr.*Vgms.*cosd(Ywr));%Υπολογισμός πραγματικής ταχύτητας
ανέμου
%Στην επαναληπτική διαδικασία υπολογίζεται η πραγματική κατεύθυνση του
%ανέμου Ywt
for nn=1:size(Vgms,1)
if (Vwr(nn)*cosd(Ywr(nn)+Y0(nn))-Vgms(nn)*cosd(Y0(nn)))<0
    Ywt(nn,1)=atand((Vwr(nn)*sind(Ywr(nn)+Y0(nn))-
Vgms(nn)*sind(Y0(nn)))/(Vwr(nn)*cosd(Ywr(nn)+Y0(nn))-Vgms(nn)*cosd(Y0(nn))))+180;
else
    Ywt(nn,1)=atand((Vwr(nn)*sind(Ywr(nn)+Y0(nn))-
Vgms(nn)*sind(Y0(nn)))/(Vwr(nn)*cosd(Ywr(nn)+Y0(nn))-Vgms(nn)*cosd(Y0(nn))));
end
end
%Διαδικασία υπολογισμού του ύψους αναφοράς απο το επίπεδο της θάλασσας Zref
DT=Tdes-T;
A=Ades+DT*B;
Za=Zades+DT;
Zref=(Ades*(Zrefdes+DT)+0.5*B*DT.^2)./A;
%υπολογισμός πραγματικής ταχύτητας ανέμου στο ύψος αναφοράς Vwtref και
%σχετικής στο ύψος αναφοράς Vwrref
Vwtref=Vwt.*(Zref./Za).^(1/7);
Vwrref=sqrt(Vwtref.^2+Vgms.^2+2*Vwtref.*Vgms.*cosd(Ywt-Y0));
%υπολογισμός σχετικής κατεύθυνσης ανέμου στο ύψος αναφοράς Ywrref
for ii=1:size(Vgms,1)
if (Vgms(ii)+Vwtref(ii,1)*cosd(Ywt(ii,1)-Y0(ii)))<0
    Ywrref(ii,1)=atand(Vwtref(ii,1)*sind(Ywt(ii,1)-
Y0(ii))/(Vgms(ii)+Vwtref(ii,1)*cosd(Ywt(ii,1)-Y0(ii))))+180;
else
    Ywrref(ii,1)=atand(Vwtref(ii,1)*sind(Ywt(ii,1)-
Y0(ii))/(Vgms(ii)+Vwtref(ii,1)*cosd(Ywt(ii,1)-Y0(ii))));
end
end
%Υπολογισμός γεωμετρικών μεταβλητών για κάθε δεδομένο του πλοίου για υπολογισμό μεθόδου
fujiwara
Aod=420.63; % επιφάνεια υπερκατασκευών
Axv=802+DT*50;%μέγιστη εγκάρσια επιφάνεια που εκτίθεται στον άνεμο
D=23.10;
Loa=264;
Hbr=38-T;%μέγιστο ύψος υπερκατασκευών απο την επιφάνεια της θάλασσας
for kk=1:size(Vgms,1)
    if (D-T(kk))>10 %συνθήκη για χωρισμό των Ballast σημείων
        Ayv(kk,1)=Aod+(D-T(kk))*259; %η διαμήκης προβεβλημένη επιφάνεια
        Cmc(kk,1)=-8.205; %η οριζόντια απόσταση του κέντρου της επιφάνειας απο την μέση
τομή
        Hc(kk,1)=9.72;% η κατακόρυφη απόσταση του κέντρο της επιφάνειας απο την
επιφάνεια του νερού
    else %Laden σημεία
        Ayv(kk,1)=Aod+(D-T(kk))*268;
        Cmc(kk,1)=-16.175;
        Hc(kk,1)=6.57;
    end
end
end
%Συντελεστές για τον υπολογισμό των συντελεστών αντίστασης ανέμου με την
%μέθοδο Fujiwara
```

```

b10=0.922; b11=-0.507; b12=-1.162; b20=-0.018; b21=5.091;
b22=-10.367; b23=3.011; b24=0.341; d10=-0.458; d11=-3.245;
d12=2.313; d20=1.901; d21=-12.727; d22=-24.407; d23=40.310;
d24=5.481; e10=0.585; e11=0.906; e12=-3.239; e20=0.314;
e21=1.117;
%υπολογισμός συντελεστών αντίστασης ανέμου με την μέθοδο Fujiwara για τα
%δεδομένα του πλοίου Cda
for mm=1:size(Vgms,1)
    if Ywr(mm)>=0 && Ywr(mm)<90
        Clf(mm,1)=b10+b11*Ayv(mm,1)/(Loa*B)+b12*Cmc(mm,1)/Loa;
        Cx11(mm,1)=d10+d11*Ayv(mm,1)/(Loa*Hbr(mm))+d12*Axv(mm)/(B*Hbr(mm));
        Calf(mm,1)=e10+e11*Aod/Ayv(mm,1)+e12*B/Loa;
        Cda(mm,1)=Clf(mm,1)*cosd(Ywr(mm))+Cx11(mm,1)*(sind(Ywr(mm))-
0.5*sind(Ywr(mm))*(cosd(Ywr(mm)))^2)*sind(Ywr(mm))*cosd(Ywr(mm))+
Calf(mm,1)*sind(Ywr(mm))*(cosd(Ywr(mm)))^3);
        Cda0=Clf(mm,1);
    else if Ywr(mm)>90 && Ywr(mm)<=270
        Clf(mm,1)=b20+b21*B/Loa+b22*Hc(mm,1)/Loa+b23*Aod/(Loa^2)+b24*Axv(mm)/(B^2);
        Cx11(mm,1)=d20+d21*Ayv(mm,1)/(Loa*Hbr(mm))+d22*Axv(mm)/Ayv(mm,1)+
d23*B/Loa+d24*Axv(mm)/(B*Hbr(mm));
        Calf(mm,1)=e20+e21*Aod/Ayv(mm,1);
        Cda(mm,1)=Clf(mm,1)*cosd(Ywr(mm))+Cx11(mm,1)*(sind(Ywr(mm))-
0.5*sind(Ywr(mm))*(cosd(Ywr(mm)))^2)*sind(Ywr(mm))*cosd(Ywr(mm))+
Calf(mm,1)*sind(Ywr(mm))*(cosd(Ywr(mm)))^3);
        Cda0=Clf(mm,1);
    else if Ywr(mm)==90
        Clf90a=b10+b11*Ayv(mm,1)/(Loa*B)+b12*Cmc(mm,1)/Loa;
        Cx1190a=d10+d11*Ayv(mm,1)/(Loa*Hbr(mm))+d12*Axv(mm)/(B*Hbr(mm));
        Calf90a=e10+e11*Aod/Ayv(mm,1)+e12*B/Loa;
        Cda90a=Clf90a*cosd(89.9)+Cx1190a*(sind(89.9)-
0.5*sind(89.9)*(cosd(89.9))^2)*sind(89.9)*cosd(89.9)+Calf90a*sind(89.9)*(cosd(89.9))^3);
        Clf90b=b20+b21*B/Loa+b22*Hc(mm,1)/Loa+b23*Aod/(Loa^2)+
b24*Axv(mm)/(B^2);
        Cx1190b=d20+d21*Ayv(mm,1)/(Loa*Hbr(mm))+d22*Axv(mm)/Ayv(mm,1)+
d23*B/Loa+d24*Axv(mm)/(B*Hbr(mm));
        Calf90b=e20+e21*Aod/Ayv(mm,1);
        Cda90b=Clf90b*cosd(90.1)+Cx1190b*(sind(90.1)-
0.5*sind(90.1)*(cosd(90.1))^2)*sind(90.1)*cosd(90.1)+Calf90b*sind(90.1)*(cosd(90.1))^3);
        Cda(mm,1)=0.5*(cd90a+cda90b);
        Cda0=Clf(mm,1);
    else
        Clf(mm,1)=b10+b11*Ayv(mm,1)/(Loa*B)+b12*Cmc(mm,1)/Loa;
        Cx11(mm,1)=d10+d11*Ayv(mm,1)/(Loa*Hbr(mm))+d12*Axv(mm)/(B*Hbr(mm));
        Calf(mm,1)=e10+e11*Aod/Ayv(mm,1)+e12*B/Loa;
        Cda(mm,1)=Clf(mm,1)*cosd(Ywr(mm))+Cx11(mm,1)*(sind(Ywr(mm))-
0.5*sind(Ywr(mm))*(cosd(Ywr(mm)))^2)*sind(Ywr(mm))*cosd(Ywr(mm))+
Calf(mm,1)*sind(Ywr(mm))*(cosd(Ywr(mm)))^3);
        Cda0=Clf(mm,1);
    end
end
end
end
end
%Υπολογισμός συντελεστών αντίστασης ανέμου με βάση τα δεδομένα του πλοίου με γραμμική
παρεμβολή για τα δεδομένα του πλοίου Crw
ra=1.225;%R=287.058; =p/(R*(Temp+273.15)), R=287.058; οπου ra puknothta
aksonasx=[0:10:360];
aksonasy=[0.621 0.5553 0.6355 0.7712 0.8852 0.9189 0.8369 0.6282 0.3063 -0.0941 -0.521
-0.9124 -1.2054 -1.3471 -1.3082 -1.0983 -0.7835 -0.5065 -0.5082 ...
-0.5065 -0.7835 -1.0983 -1.3082 -1.3471 -1.2054 -0.9124 -0.521 -0.0941 0.3063 0.6282
0.8369 0.9189 0.8852 0.7712 0.6355 0.5553 0.621];
Crw=interp1(aksonasx,aksonasy,abs(Ywrref),'linear');
C0w=0.621;
%Υπολογισμός συντελεστών αντίστασης ανέμου απο δεδομένα F3 της μεθόδου ITTC Με γραμμική
παρεμβολή πάλι

```

```

F3xbal=[0:10:360];%Γωνίες κατεύθυνσης ανέμου
F3xlad=[0:10:360];%Γωνίες κατεύθυνσης ανέμου
F3ybal=[0.63 0.66 0.61 0.56 0.47 0.38 0.29 0.19 0.08 0.02 -0.04 -0.06 -0.13 -0.21 -0.32
-0.45 -0.62 -0.76 -0.86 -0.76 -0.62 -0.45 -0.32 -0.21 -0.13 ...
-0.06 -0.04 0.02 0.08 0.19 0.29 0.38 0.47 0.56 0.61 0.66 0.63];
F3ylad=[0.77 0.79 0.75 0.66 0.53 0.4 0.29 0.22 0.14 0.05 -0.06 -0.17 -0.34 -0.47 -0.62
-0.73 -0.85 -0.93 -0.96 -0.93 -0.85 -0.73 -0.62 -0.47 -0.34 ...
-0.17 -0.06 0.05 0.14 0.22 0.29 0.40 0.53 0.66 0.75 0.79 0.77];
cfb=1;
cfl=1;
for dd=1:size(Vgms,1)
    if T(dd)<10
        Cf3ballast(cfb)=interp1(F3xbal,F3ybal,abs(Ywrref(dd)),'linear');
        cfb=cfb+1;
    else
        Cf3laden(cfl)=interp1(F3xlad,F3ylad,abs(Ywrref(dd)),'linear');
        cfl=cfl+1;
    end
end

%υπολογισμός πρόσθετης αντίστασης ανέμου με συντελεστές αντίστασης ανέμου απο την
μέθοδο Fujiwara
RrwFujiwara=0.5*ra*Vwrref.^2.*A.*Cda;
R0wFujiwara=0.5*ra*Vgms.^2.*A.*Cda*0;
DRfujiwara=(RrwFujiwara-R0wFujiwara)/1000;%/1000 για μετατροπη σε kN

```

waveresFINAL.m

%Σκοπός της συνάρτησης αυτής είναι ο υπολογισμός της πρόσθετης αντίστασης κυματισμού για τα δεδομένα του πλοίου

```
function [staw1,staw2]=waveresFINAL(B,Vg,Cb,Lpp,T,Vwtref,Ywr)
Vgms=Vg*0.5144;%ταχύτητα πλοίου σε m/s
%υπολογισμός μεταβλητών που εμπεριέχονται στην μεθοδολογία
g=9.81; ds=1025; kyy=0.25; Lbwl=34.10; al=60.3*Cb^(1.34);
for nn=1:size(Vgms,1)
    Fr(nn,1)=Vgms(nn)/(sqrt(Lpp*g));
    fl(nn,1)=0.692*(Vgms(nn)/(sqrt(T(nn)*g))).^0.769+1.81*Cb;
    if Ywr(nn)<45 || Ywr(nn)>315 %Συνθήκη για μετωπικούς κυματισμούς +- 45 μοίρες
        % Υπολογισμός του σημαντικού ύψους κύματος απο την ταχύτητα του αέρα
        if Vwtref(nn)<7.5
            Hs(nn,1)=0.016*Vwtref(nn)^2;
        else
            Hs(nn,1)=0.01*Vwtref(nn)^2+0.00081*Vwtref(nn)^3;
        end
        za(nn,1)=Hs(nn,1)/2; %πλάτος κύματος
        wm(nn,1)=0.4*sqrt(g/Hs(nn,1));%Υπολογισμός μέγιστης γων. συχνότητας για το
        φάσμα BRETSCHEIDER
        %υπολογισμός μεταβλητών και τελικώς πρόσθετης αντίστασης κυματισμού με τις
        %μεθόδους STAWAVE 1 STAWAVE 2
        ii=1; oloklhrwma=0;
        for ww=0.25:0.01:4; %Τιμες γωνιακής ταχύτητας
            w(ii,1)=ww;
            %Ευρεση RWAVE της STAWAVE 2
            wbar(ii,1)=(sqrt(Lpp/g)*kyy^(1/3))/(1.17*Fr(nn,1)^(-0.143))*ww;
            if wbar(ii,1)<1
                b1(ii,1)=11;
                d1(ii,1)=14;
            else
                b1(ii,1)=-8.5;
                d1(ii,1)=-566*(Lpp/B)^(-2.66);
            end
            raw(ii,1)=wbar(ii,1)^b1(ii,1)*exp((b1(ii,1)/d1(ii,1))*
            (1-wbar(ii,1)^b1(ii,1)))*al*Fr(nn,1)^(1.5)*exp(-3.5*Fr(nn,1));
            RAWML(ii,1)=4*ds*g*B^2/Lpp*raw(ii,1);
            k(ii,1)=ww^2/g;
            lamda(ii,1)=2*pi/k(ii,1);
            orisma(ii,1)=1.5*k(ii,1)*T(nn);
            I1(ii,1)=besseli(1,orisma(ii,1));
            K1(ii,1)=besselk(1,orisma(ii,1));
            alw(ii,1)=(pi^2*I1(ii,1)^2)/(pi^2*I1(ii,1)^2+K1(ii,1)^2)*fl(nn,1);
            RAWRL(ii,1)=0.5*ds*g*B*alw(ii,1);
            Rwave(ii,1)=RAWML(ii,1)+RAWRL(ii,1);
            x(ii,1)=lamda(ii,1)/Lpp;
            %Εισαγωγή φάσματος (BRETSCHEIDER) και υπολογισμός ολοκληρώματος
            sh1(ii,1)=(1.25/4)*(wm(nn,1)^4)/(w(ii,1)^5)*(Hs(nn,1)^2)*
            (exp(-1.25*(wm(nn,1)/w(ii,1))^4));%BRETSCHEIDER
            oloklhrwma=oloklhrwma+(Rwave(ii,1)*sh1(ii,1)*0.01);
            ii=ii+1;
        end
        RAWL(nn,1)=2*oloklhrwma; %STAWAVE 2
        STAWAVE1(nn,1)=(1/16)*ds*g*Hs(nn,1)^2*B*sqrt(B/Lbwl);%STAWAVE 1
        staw1(nn,1)=STAWAVE1(nn,1)/1000; %STAWAVE 1 σε kN
        staw2(nn,1)=RAWL(nn,1)/1000;%STAWAVE 2 σε kN
    else
        staw1(nn,1)=0;
        staw2(nn,1)=0;
    end
end
end
```


PowerFINAL.m

%Σκοπός τηw συνάρτησης αυτής είναι ο υπολογισμός της πρόσθετης ισχύος για τα δεδομένα του πλοίου καθώς και η παραγωγή όλων των διαγραμμάτων που σχετίζονται με την σύγκριση μεθοδολογιών

function

```
[Pdcorisofujiwara,Pdcorittc1fujiiwara,Pdcorittc2fujii]=PowerFINAL(Pd,hd0,hdm,Vg,Vwtref,DRfujiiwara,T,Trim,staw1,staw2)
```

```
Vgms=Vg*0.5144;
```

```
%Υπολογισμός τελικής ισχύος με συντελεστές αντίστασης ανέμου απο Fujiwara
```

```
DPwisofujiwara=DRfujiiwara.*Vgms/hd0+Pd*(1-hdm/hd0);%Πρόσθετη ισχύς
```

```
Pdcorisofujiwara=Pd-DPwisofujiwara;%Τελική ισχύς
```

```
%Υπολογισμός τελικής ισχύος με την μέθοδο ITTC (αντίσταση ανέμου και αντίσταση κυματισμού)
```

```
%Μέθοδος Stawave 1
```

```
DRittc1fujiiwara=DRfujiiwara+staw1;%Συνολική πρόσθετη αντίσταση
```

```
DPwittc1fujiiwara=DRittc1fujiiwara.*Vgms/hd0+Pd*(1-hdm/hd0);%Πρόσθετη ισχύς
```

```
Pdcorittc1fujiiwara=Pd-DPwittc1fujiiwara;%Τελική ισχύς
```

```
%Μέθοδος Stawave 2
```

```
DRittc2fujii=DRfujiiwara+staw2;%Συνολική πρόσθετη αντίσταση
```

```
DPwittc2fujii=DRittc2fujii.*Vgms/hd0+Pd*(1-hdm/hd0);%Πρόσθετη ισχύς
```

```
Pdcorittc2fujii=Pd-DPwittc2fujii;%Τελική ισχύς
```

```
nladen=1; %Μετρητικός δείκτης για τα σημεία φορτωμένης κατάστασης της μεθόδου ISO
```

```
nballast=1; %Μετρητικός δείκτης για τα σημεία ερματισμένης κατάστασης της μεθόδου ISO
```

```
Vdiagr=Vgms/0.5144; %Μετατροπή ταχύτητας σε m/s
```

```
%Βυθίσματα αναφοράς του πλοίου
```

```
Tladenref=15;
```

```
Tballastref=7.3;
```

```
Trimdes=0;
```

```
Lbp=264;
```

```
deikthsladen=1; %Μετρητικός δείκτης για τα σημεία φορτωμένης κατάστασης της μεθόδου ITTC
```

```
deikthsballast=1;%Μετρητικός δείκτης για τα σημεία ερματισμένης κατάστασης της μεθόδου ITTC
```

```
for ii=1:size(Vgms,1)
```

```
    %Η παρακάτω συνθήκη υπάρχει προκειμένου να απορίπτονται τα μεταβατικά
```

```
    σημεία στα οποία η ταχύτητα και η ισχύς είναι πολύ μικρές
```

```
    if Vdiagr(ii)>8 && Pd(ii)>3000
```

```
%Ελεγχος για την κατάσταση πλεύσης (T>10 φορτωμένη κατάσταση και T<10 ερματισμένη)
```

```
    if T(ii)>10
```

```
        %κανονικοποίηση των υπολογισμένων σημείων της μεθόδου ISO καθώς και της
```

```
        αρχικής μετρημένης ισχύος
```

```
        Pdcorisofujiiwaraladen(nladen)=(Pd(ii)DPwisofujiiwara(ii))*
```

```
(T(ii)/Tladenref)^(2/3);
```

```
        Pdladen(nladen)=(Pd(ii))* (T(ii)/Tladenref)^(2/3);
```

```
        %Εύρεση δεδομένων στην φορτωμένη κατάσταση για την παραγωγή
```

```
        ιστογραμμάτων
```

```
        Vgladen(nladen)=Vdiagr(ii,1);
```

```
        Tladen(nladen)=T(ii);
```

```
        Trimladen(nladen)=Trim(ii);
```

```
        vaeraladen(nladen)=Vwtref(ii);
```

```
        %υπολογισμός των δεικτών απώλειας ισχύος και ταχύτητας με την
```

```
        μέθοδο ISO
```

```
        PowerLossLadenWind(nladen)=(Pdcorisofujiiwaraladen(nladen)-
```

```
3.917*Vgladen(nladen)^3.007)/(3.917*Vgladen(nladen)^3.007)*100;
```

```
        SpeedLossLadenWind(nladen)=(Vgladen(nladen)-
```

```
(Pdcorisofujiiwaraladen(nladen)/3.917)^(1/3.007))/((Pdcorisofujiiwaraladen(nladen)/3.917)^(1/3.007))*100;
```

```
        if staw1(ii)>0%Διαλογή των σημείων στα οποία έχει πραγματοποιηθεί διόρθωση λόγω κυματισμού
```

```
        %κανονικοποίηση των υπολογισθέντων σημείων της μεθόδου ITTC καθώς και της
```

```
        αρχικής μετρημένης ισχύος
```

```

        stawave1ladenfujiwara(deikthsladen)=(Pd(ii)-
DPwittc1fujiwara(ii))*(T(ii)/Tladenref)^(2/3);
        stawave2ladenfujiwara(deikthsladen)=(Pd(ii)-
DPwittc2fuji(ii))*(T(ii)/Tladenref)^(2/3);
        Pdoutladen1(deikthsladen)=(Pd(ii))*(T(ii)/Tladenref)^(2/3);
        %Υπολογισμός πρόσθετων αντιστάσεων και πρόσθετης ισχύος για
        %την παραγωγή χρονοδιαγράμματος
        Vgoutladen1(deikthsladen)=Vdiagr(ii,1);
        DPRaera(deikthsladen)=DRfujiwara(ii)*Vgms(ii)/0.7;
        DPRkuma(deikthsladen)=staw2(ii)*Vgms(ii)/0.7;
        DPdxronodiagramma(deikthsladen)=stawave2ladenfujiwara(deikthsladen)-
Pdoutladen1(deikthsladen);
        %Σημεία ταχύτητας ανέμπου που συναντάει το πλοίο σε
        %μειωτικούς κυματισμούς σε φορτωμένη κατάσταση
        vaeraladenittc(deikthsladen)=Vwtref(ii);
        %υπολογισμός των δεικτών απώλειας ισχύος και ταχύτητας με την μέθοδο
ITTC Stawave 2
        PowerLossLadenWindwave(deikthsladen)=
(stawave2ladenfujiwara(deikthsladen)-3.917*Vgoutladen1(deikthsladen)^3.007) /
(3.917*Vgoutladen1(deikthsladen)^3.007)*100;
        SpeedLossLadenWindwave(deikthsladen)=(Vgoutladen1(deikthsladen)-
(stawave2ladenfujiwara(deikthsladen)/3.917)^(1/3.007)) /
(((stawave2ladenfujiwara(deikthsladen)/3.917)^(1/3.007))*100);
        %υπολογισμός των δεικτών απώλειας ισχύος και ταχύτητας με την μέθοδο ISO
        PowerLossLadenWindl(deikthsladen)=(((Pd(ii)-DPwisofujiwara(ii))*
(T(ii)/Tladenref)^(2/3))-3.917*Vgoutladen1(deikthsladen)^3.007) /
(3.917*Vgoutladen1(deikthsladen)^3.007)*100;
        SpeedLossLadenWindl(deikthsladen)=(Vgoutladen1(deikthsladen)-(((Pd(ii)-
DPwisofujiwara(ii))*(T(ii)/Tladenref)^(2/3))/3.917)^(1/3.007))/
((((Pd(ii)-DPwisofujiwara(ii))*(T(ii)/Tladenref)^(2/3))/3.917)^(1/3.007))*100;
        deikthsladen=deikthsladen+1;
    end
    %Κριτήρια ελέγχου κανονικοποίησης
    if abs((Tladenref-T(ii))/T(ii)*100)<5
        disp{ii}='pass';
    else
        disp{ii}='fail';
    end
    if Trimdes<(0.2*Lbp/100+Trim(ii))
        Trims{ii}='pass';
    else
        Trims{ii}='fail';
    end
    nladen=nladen+1;
end
if T(ii)<=10
    %κανονικοποίηση των υπολογισθέντων σημείων καθώς και της
    %αρχικής μετρημένης ισχύος
    Pdcorisofujiwaraballast(nballast)=
(Pd(ii)-DPwisofujiwara(ii))*(T(ii)/Tballastref)^(2/3);
    Pdballast(nballast)=(Pd(ii))*(T(ii)/Tballastref)^(2/3);
    %Εύρεση δεδομένων στην ερματισμένη κατάσταση για την παραγωγή
    %ιστογραμμάτων
    Vgballast(nballast)=Vdiagr(ii,1); %ταχύτητα πλοίου
    Tballast(nballast)=T(ii); %βύθισμα
    Trimballast(nballast)=Trim(ii); %διαγωγή
    vaeraballast(nballast)=Vwtref(ii); %ταχύτητα αέρα
    %υπολογισμός των δεικτών απώλειας ισχύος και ταχύτητας με την
    %μέθοδο ISO για όλα τα σημεία
    PowerLossBallastWind(nballast)=(Pdcorisofujiwaraballast(nballast)-
0.4948*Vgballast(nballast)^3.67)/(0.4948*Vgballast(nballast)^3.67)*100;
    SpeedLossBallastWind(nballast)=(Vgballast(nballast)-
(Pdcorisofujiwaraballast(nballast)/0.4948)^(1/3.67))/
(((Pdcorisofujiwaraballast(nballast)/0.4948)^(1/3.67))*100);

```

```

    if staw1(ii)>0
        %κανονικοποίηση των υπολογισθέντων σημείων καθώς και της
        %αρχικής μετρημένης ισχύος
        stawave1ballastfujiwara(deikthsballast)=
(Pd(ii)-DPwittc1fujiwara(ii))*(T(ii)/Tballastref)^(2/3);
        stawave2ballastfujiwara(deikthsballast)=
(Pd(ii)-DPwittc2fuji(ii))*(T(ii)/Tballastref)^(2/3);
        Pdoutballast1(deikthsballast)=(Pd(ii))*(T(ii)/Tballastref)^(2/3);
        Vgballast1(deikthsballast)=Vdiagr(ii,1);
        %Σημεία ταχύτητας ανέμου που συναντάει το πλοίο σε
        %μετωπικούς κυματισμούς σε ερματισμένη κατάσταση
        vaeraballastittc(deikthsballast)=Vwtref(ii);
        %υπολογισμός των δεικτών απώλειας ισχύος και ταχύτητας με την μέθοδο
ITTC Stawave 2
        PowerLossBallastWindwave(deikthsballast)=
(stawave2ballastfujiwara(deikthsballast)-0.4948*Vgballast1(deikthsballast)^3.67)/
(0.4948*Vgballast1(deikthsballast)^3.67)*100;
        SpeedLossBallastWindwave(deikthsballast)=(Vgballast1(deikthsballast)-
(stawave2ballastfujiwara(deikthsballast)/0.4948)^(1/3.67))/
((stawave2ballastfujiwara(deikthsballast)/0.4948)^(1/3.67))*100;
        %υπολογισμός των δεικτών απώλειας ισχύος και ταχύτητας με την μέθοδο ISO
        PowerLossBallastWind2(deikthsballast)=(((Pd(ii)-DPwisofujiwara(ii))*
(T(ii)/Tballastref)^(2/3))-0.4948*Vgballast1(deikthsballast)^3.67)/
(0.4948*Vgballast1(deikthsballast)^3.67)*100;
        SpeedLossBallastWind2(deikthsballast)=(Vgballast1(deikthsballast)-
(((Pd(ii)-DPwisofujiwara(ii))*(T(ii)/Tballastref)^(2/3))/0.4948)^(1/3.67))/
(((Pd(ii)-DPwisofujiwara(ii))*(T(ii)/Tballastref)^(2/3))/0.4948)^(1/3.67))*100;
        deikthsballast=deikthsballast+1;
    end
    %Κριτήρια ελέγχου κανονικοποίησης
    if abs((Tballastref-T(ii))/T(ii)*100)<5
        disp{ii}='pass';
    else
        disp{ii}='fail';
    end
    if Trimdes<(0.2*Lbp/100+Trim(ii))
        Trims{ii}='pass';
    else
        Trims{ii}='fail';
    end
    nballast=nballast+1;
end
end
end
%Οι τιμές του οριζόντιου άξονα (τιμές ταχύτητας) που χρησιμοποιείται σε όλα τα διαγράμματα
Vxaksonas=[7:0.1:16.5];
%η καμπύλη αναφοράς του πλοίου όπως αυτή έχει προκύψει απο τις δοκιμές σε
%μοντέλο πλοίο για την φορτωμένη κατάσταση
Pyladen=3.917*Vxaksonas.^3.007;
%η καμπύλη αναφοράς του πλοίου όπως αυτή έχει προκύψει απο τις δοκιμές σε
%μοντέλο πλοίο για την ερματισμένη κατάσταση
Pyballast=0.4948*Vxaksonas.^(3.67);

%Τα διαγράμματα 10-15 αναφέρονται σε συντελεστές αντίστασης ανέμου απο την
%μέθοδο Fujiwara, ενώ παρουσιάζονται η αρχική μετρημένη ισχύς και η τελική
%ισχύς αφού κανονικοποιηθούν, επιπλέον παρουσιάζεται και η καμπύλη αναφοράς
%του πλοίου
%Διάγραμμα τελικής ισχύος - ταχύτητας με την μέθοδο ISO για την φορτωμένη κατάσταση
figure (10)
hold on
plot(Vxaksonas,Pyladen,'b-')
plot(Vgladen,Pdcorisofujiiwaraladen,'ro')
plot(Vgladen,Pdladen,'b*')
xlabel('Speed Through Water (Kn)')

```

```

ylabel('Power (kW)')
legend({'Scantling','Corrected Power','Measured Power'},'location','northeast')
grid
%Διάγραμμα τελικής ισχύος - ταχύτητας με την μέθοδο ISO για την ερματισμένη κατάσταση
figure (11)
hold on
plot(Vxaksonas,Pyballast,'b-')
plot(Vgballast,Pdcorisofujiwaraballast,'ro')
plot(Vgballast,Pdballast,'b*')
xlabel('Speed Through Water (Kn)')
ylabel('Power (kW)')
legend({'Ballast','Corrected Power','Measured Power'},'location','northeast')
grid

```

```

%Διάγραμμα τελικής ισχύος - ταχύτητας με την μέθοδο ITTC (Stawave 1)
%για την φορτωμένη κατάσταση
figure (12)
hold on
plot(Vxaksonas,Pyladen,'b-')
plot(Vgoutladen1,stawavelladenfujiwara,'ro')
plot(Vgoutladen1,Pdoutladen1,'b*')
xlabel('Speed Through Water (Kn)')
ylabel('Power (kW)')
legend({'Scantling','Corrected Power','Measured Power'},'location','northeast')
grid

```

```

%Διάγραμμα τελικής ισχύος - ταχύτητας με την μέθοδο ITTC (Stawave 1)
%για την ερματισμένη κατάσταση
figure (13)
hold on
plot(Vxaksonas,Pyballast,'b-')
plot(Vgballast1,stawavelballastfujiwara,'ro')
plot(Vgballast1,Pdoutballast1,'b*')
xlabel('Speed Through Water (Kn)')
ylabel('Power (kW)')
legend({'Ballast','Corrected Power','Measured Power'},'location','northeast')
grid

```

```

%Διάγραμμα τελικής ισχύος - ταχύτητας με την μέθοδο ITTC (Stawave 2)
%για την φορτωμένη κατάσταση
figure (14)
hold on
plot(Vxaksonas,Pyladen,'b-')
plot(Vgoutladen1,stawave2ladenfujiwara,'ro')
plot(Vgoutladen1,Pdoutladen1,'b*')
xlabel('Speed Through Water (Kn)')
ylabel('Power (kW)')
legend({'Scantling','Corrected Power','Measured Power'},'location','northeast')
grid

```

```

%Διάγραμμα τελικής ισχύος - ταχύτητας με την μέθοδο ITTC (Stawave 2)
%για την ερματισμένη κατάσταση
figure (15)
hold on
plot(Vxaksonas,Pyballast,'b-')
plot(Vgballast1,stawave2ballastfujiwara,'ro')
plot(Vgballast1,Pdoutballast1,'b*')
xlabel('Speed Through Water (Kn)')
ylabel('Power (kW)')
legend({'Ballast','Corrected Power','Measured Power'},'location','northeast')
grid

```

%Στα διαγράμματα 80 - 87 παρουσιάζονται σε ιστόγραμμα τα σημεία της ταχύτητας του αέρα, του βυθίσματος, της διαγωγής, και της ταχύτητας του πλοίου για τις δύο καταστάσεις πλεύσης φορτωμένη και ερματισμένη

```

figure (80)
hold on
h1=histogram(vaeraladen)
xlabel('Πραγματική Ταχύτητα Ανέμου m/s (Φορτωμένη)')
grid on

%plot(vaeralad,Hsplot1*500,'r')
%[hAx,hLine1,hLine2] = plotyy(0,0,vaeralad,Hsplot1*500);
%xlabel('Πραγματική Ταχύτητα Ανέμου')
%ylabel(hAx(2),'Σημαντικό Ύψος Κύματος')
%grid on

figure (81)
hold on
h2=histogram(vaeraballast);
xlabel('Πραγματική Ταχύτητα Ανέμου m/s (Ερματισμένη)')
grid on

figure (82)
hold on
h3=histogram(Tladen);
xlabel('Βύθισμα m (Φορτωμένη)')
grid on

figure (83)
hold on
h4=histogram(Tballast);
xlabel('Βύθισμα m (Ερματισμένη)')
grid on

figure (84)
hold on
h5=histogram(Trimballast);
xlabel('Διαγωγή m (Ερματισμένη)')
grid on

figure (85)
hold on
h6=histogram(Trimladen);
xlabel('Διαγωγή m (Φορτωμένη)')
grid on

figure (86)
hold on
h7=histogram(Vgladen);
xlabel('Ταχύτητα Πλοίου knots (Φορτωμένη)')
grid on

figure (87)
hold on
h8=histogram(Vgballast);
xlabel('Ταχύτητα Πλοίου knots (Ερματισμένη)')
grid on
%Ιστογράμματα (88-89) για τις τιμές της ταχύτητας ανέμου σε μετωπικούς κυματισμούς
figure (88)
hold on
h9=histogram(vaeraladenittc);
xlabel('Πραγματική Ταχύτητα Ανέμου m/s (Φορτωμένη)')
grid on

figure (89)
hold on
h10=histogram(vaeraballastittc);

```

```
xlabel('Πραγματική Ταχύτητα Ανέμου m/s (Ερματισμένη)')
grid on
```

```
%Τα διαγράμματα 60 - 63 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των δεικτών για τις
%δύο μεθοδολογίες για την σύγκριση τους
```

```
figure (60)
hold on
h1=histogram(PowerLossLadenWind1);
hold on
h2=histogram(PowerLossLadenWindwave);
xlabel('Αύξηση ισχύος % (Φορτωμένη)')
legend({'Wind','Wind+Wave'},'location','northeast')
grid on
```

```
figure (61)
hold on
h3=histogram(PowerLossBallastWind2);
hold on
h4=histogram(PowerLossBallastWindwave);
legend({'Wind','Wind+Wave'},'location','northeast')
xlabel('Αύξηση ισχύος % (Ερματισμένη)')
grid on
```

```
figure (62)
hold on
h5=histogram(SpeedLossLadenWind1);
hold on
h6=histogram(SpeedLossLadenWindwave);
legend({'Wind','Wind+Wave'},'location','northeast')
xlabel('Απώλεια ταχύτητας % (Φορτωμένη)')
grid on
```

```
figure (63)
hold on
h7=histogram(SpeedLossBallastWind2);
hold on
h8=histogram(SpeedLossBallastWindwave);
legend({'Wind','Wind+Wave'},'location','northeast')
xlabel('Απώλεια ταχύτητας% (ερματισμένη)')
grid on
```

```
%Υπολογισμός μέσου όρου των δεικτών(Αριστερά για το ISO δεξιά για την ITTC)
```

```
m1=mean(PowerLossLadenWind1); m2=mean(PowerLossLadenWindwave);
m3=mean(PowerLossBallastWind2); m4=mean(PowerLossBallastWindwave);
m5=mean(SpeedLossLadenWind1); m6=mean(SpeedLossLadenWindwave);
m7=mean(SpeedLossBallastWind2); m8=mean(SpeedLossBallastWindwave);
```

```
%Υπολογισμός διάμεσου των δεικτών(Αριστερά για το ISO δεξιά για την ITTC)
```

```
dm1=median(PowerLossLadenWind1); dm2=median(PowerLossLadenWindwave);
dm3=median(PowerLossBallastWind2); dm4=median(PowerLossBallastWindwave);
dm5=median(SpeedLossLadenWind1); dm6=median(SpeedLossLadenWindwave);
dm7=median(SpeedLossBallastWind2); dm8=median(SpeedLossBallastWindwave);
```

```
%Υπολογισμός τυπικής απόκλισης των δεικτών(Αριστερά για το ISO δεξιά για την ITTC)
```

```
ss1=std(PowerLossLadenWind1); ss2=std(PowerLossLadenWindwave);
ss3=std(PowerLossBallastWind2); ss4=std(PowerLossBallastWindwave);
ss5=std(SpeedLossLadenWind1); ss6=std(SpeedLossLadenWindwave);
ss7=std(SpeedLossBallastWind2); ss8=std(SpeedLossBallastWindwave);
```

```
%Χρονοδιάγραμμα 250 τυχαίων σημείων απο την φορτωμένη κατάσταση στο οποίο
```

```
%απεικονίζονται οι πρόσθετες αντιστάσεις και η πρόσθετη ισχύς
```

```
figure (90)
hold on
plot(-DPRkuma(4300:4550),'b')
plot(-DPRaera(4300:4550),'g')
plot(DPdxronodiagramma(4300:4550),'r')
```

```
xlabel('Δείγμα απο φορτωμένη κατάσταση')  
ylabel('Ισχύς (kW)')  
legend({'P Wave', 'P Wind', 'DP'}, 'location', 'northeast')  
grid on
```

FINAL.m

```
%τελικό πρόγραμμα
clear all
close all
%Εισαγωγή δεδομένων και βασικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πλοίου
Ades=802; Tdes=16; B=50; Lpp=264;
Cb=0.8211; Zades=50.5; Zrefdes=10;
hd0=0.7; hdm=0.7; %συντελεστές απόδοσης έλικας
%Ακολουθούν δύο εισαγωγές δεδομένων του πλοίου λόγω μεγάλου όγκου
VwrA=xlsread('data2a_part.xlsx','J2:J39960');
YwrA=xlsread('data2a_part.xlsx','C2:C39960');
TA=xlsread('data2a_part.xlsx','D2:D39960');
VgA=xlsread('data2a_part.xlsx','B2:B39960');
Y0A=xlsread('data2a_part.xlsx','G2:G39960');
PdA=xlsread('data2a_part.xlsx','E2:E39960');
TrimA=xlsread('data2a_part.xlsx','F2:F39960');

VwrB=xlsread('data2b_part.xlsx','I2:I45266');
YwrB=xlsread('data2b_part.xlsx','C2:C45266');
TB=xlsread('data2b_part.xlsx','D2:D45266');
VgB=xlsread('data2b_part.xlsx','B2:B45266');
Y0B=xlsread('data2b_part.xlsx','G2:G45266');
PdB=xlsread('data2b_part.xlsx','E2:E45266');
TrimB=xlsread('data2b_part.xlsx','F2:F45266');
%Στις δύο ακόλουθες επαναλήψεις ταξινομούνται τα δεδομένα σε μία μεταβλητή
%ανα μέγεθος
for ii=1:size(TA,1)
    Vwr(ii,1)=VwrA(ii); %σχετική ταχύτητα ανέμου
    Ywr(ii,1)=YwrA(ii); %σχετική κατεύθυνση ανέμου
    T(ii,1)=TA(ii); %βύθισμα του πλοίου
    Vg(ii,1)=VgA(ii); % ταχύτητα του πλοίου
    Y0(ii,1)=Y0A(ii); %κατεύθυνση του πλοίου
    Pd(ii,1)=PdA(ii); %Μετροημένη ισχύς
    Trim(ii,1)=TrimA(ii); %Διαγωγή
end
NNN=39960;
for jj=1:size(TB,1)
    Vwr(NNN,1)=VwrB(jj);
    Ywr(NNN,1)=YwrB(jj);
    T(NNN,1)=TB(jj);
    Vg(NNN,1)=VgB(jj);
    Y0(NNN,1)=Y0B(jj);
    Pd(NNN,1)=PdB(jj);
    Trim(NNN,1)=TrimB(jj);
    NNN=NNN+1;
end

%Εισαγωγή συναρτήσεων για την επεξεργασία των δεδομένων του πλοίου
[Vwtref,DRData,DRfujiiwara,Vwrref,Ywt]=windresFINAL(Vwr,Vg,Ywr,Y0,Zades,T,Ades,Zrefdes,Tdes,B);
[staw1,staw2]=waveresFINAL(B,Vg,Cb,Lpp,T,Vwtref,Ywr);
[Pdcorisofujiiwara,Pdcorittc1fujiiwara,Pdcorittc2fujii]=PowerFINAL(Pd,hd0,hdm,Vg,Vwtref,DRfujiiwara,T,Trim,staw1,staw2);
```


Παράρτημα Β Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ Α. Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών των συντελεστών αντίστασης ανέμου ανα 10 μίρες.

Σχετική γωνία ανέμου (rad)	Συντελεστής αντίστασης ανέμου Fujiwara Ερματισμένη	Συντελεστής αντίστασης ανέμου Fujiwara Φορτωμένη	Πίνακας F3 ITTC Ερματισμένη	Πίνακας F3 ITTC Φορτωμένη
0	0.90395	0.779319	0.86	0.96
0.1745	0.91222	0.769337	0.76	0.93
0.349	0.88596	0.719375	0.62	0.85
0.5236	0.82256	0.630308	0.45	0.73
0.6981	0.72451	0.510041	0.32	0.62
0.8726	0.59909	0.37479	0.21	0.47
1.0471	0.45619	0.24522	0.13	0.34
1.2216	0.3052	0.138372	0.06	0.17
1.3962	0.15238	0.059663	0.04	0.06
1.5707	0.00012	-0.00051	0.02	-0.05
1.7452	-0.1308	-0.15863	-0.08	-0.14
1.9197	-0.2754	-0.31719	-0.19	-0.22
2.0942	-0.4375	-0.47208	-0.29	-0.29
2.2688	-0.6059	-0.61435	-0.38	-0.4
2.4433	-0.7572	-0.73058	-0.47	-0.53
2.6178	-0.8649	-0.80671	-0.56	-0.66
2.7923	-0.9102	-0.83348	-0.61	-0.75
2.9668	-0.8901	-0.81121	-0.66	-0.79
3.1414	-0.8182	-0.75141	-0.63	-0.77